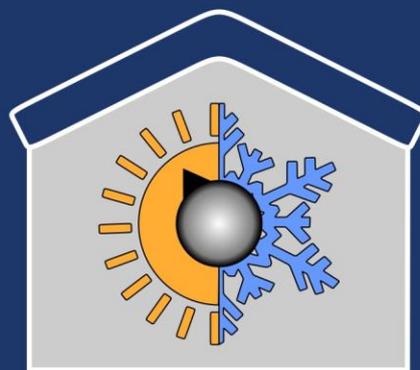




PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO - DEHA

INFLUÊNCIA DA DEFINIÇÃO DO SETPOINT  
DO AR-CONDICIONADO PARA O  
CONFORTO TÉRMICO E CONSUMO  
ENERGÉTICO EM CLIMA  
QUENTE E ÚMIDO



MARA RÚBIA ARAÚJO HOLANDA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – FAU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

DOUTORADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO

- DEHA -

TESE DE DOUTORADO

---

**INFLUÊNCIA DA DEFINIÇÃO DO *SETPOINT* DO AR  
CONDICIONADO PARA O CONFORTO TÉRMICO E  
CONSUMO ENERGÉTICO EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO**

---

**Mara Rúbia Araújo Holanda**

MACEIÓ

2020

**Mara Rúbia Araújo Holanda**

---

**INFLUÊNCIA DA DEFINIÇÃO DO *SETPOINT* DO AR  
CONDICIONADO PARA O CONFORTO TÉRMICO E  
CONSUMO ENERGÉTICO EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO**

---

Tese de doutorado apresentada ao Programa de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

MACEIÓ

2020

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

H722i Holanda, Mara Rúbia Araújo.  
Influência da definição do *setpoint* do ar condicionado para conforto térmico e consumo energético em clima quente e úmido / Mara Rúbia Araújo Holanda. - 2020.  
213 f. : il. color.

Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt.  
Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2020.

Bibliografia: f. 172-186.  
Apêndices: f. 210-213.

1. Conforto térmico. 2. Desempenho termoenergético. 3. Climatização. 4. Ar condicionado. I. Título

CDU: 72:697.9

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – FAU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
DOUTORADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO – DEHA

Mara Rúbia Araújo Holanda

---

**INFLUÊNCIA DA DEFINIÇÃO DO *SETPPOINT* DO AR CONDICIONADO  
PARA O CONFORTO TÉRMICO E CONSUMO ENERGÉTICO EM CLIMA  
QUENTE E ÚMIDO**

---

Tese de doutorado apresentada ao Programa de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para a obtenção do grau de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 02/ 10/ 2020

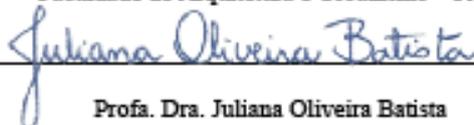
BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU



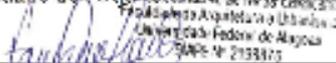
Profa. Dra. Juliana Oliveira Batista  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU



---

Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU



Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Universidade Federal de Alagoas  
CAMPUS V - 21330-170

---

Prof. Dr. Fernando Antonio de Melo Sá Cavalcanti

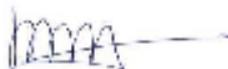
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU



---

Profa. Dra. Joyce Correia Carlo

Universidade Federal de Viçosa, DAU – Departamento de Arquitetura e Urbanismo



---

Profa. Dra. Virginia Maria Dantas Araújo  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

“Porque Eu, o Senhor, teu Deus, te tomo  
pela tua mão direita; e te digo: Não temas,  
eu Te ajudo.”

[Isaías. 41:13]

Dedico este trabalho às minhas filhas, a  
minha irmã e aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

---

A Deus, por continuar me acolhendo e me ensinando, principalmente nos momentos de incerteza onde me mostrou que estava comigo.

À minha família, em especial às minhas filhas, que mesmo tão pequenas souberam me apoiar entendendo minhas ausências e muitas vezes o meu cansaço. À minha irmã, alma gêmea, que esteve “lá” o tempo todo, pra tudo. Aos meus pais, os quais não cansarei de dizer: obrigada por tudo!

Ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt, que pela segunda vez foi meu orientador, o qual tenho profunda admiração e respeito. Obrigada por confiar no meu trabalho e me incentivar com intervenções perfeitas.

A todos os professores do DEHA que contribuíram para este trabalho, em especial a Gianna Barbirato, pelo apoio no início dessa jornada. Aos Professores Juliana Oliveira e ao Fernando Sá, o meu muito obrigada pela paciência nas inúmeras dúvidas. Ao Prof. Ricardo Victor pela disponibilidade em fazer parte desta banca. À técnica do Grupo de Estudo em Conforto Ambiental (GECA), Mayna, pelos esclarecimentos no uso da ferramenta de simulação. Extensão de agradecimento à secretária deste Programa, Luciane, que sempre me acolheu com muita atenção e zelo.

Aos funcionários, professores e Reitor do Centro Universitário Tiradentes, por toda a disponibilidade em contribuir para o melhor desenvolvimento deste trabalho.

À minha amiga Andrea Carla, que foi espetacular com sua alegria em todo o processo e me manteve firme neste propósito.

À Banca Examinadora, pelas contribuições ao aprimoramento da tese.

À FAPEAL, pela concessão da bolsa.

*“A todos vocês o meu “muito obrigada!”. Foi sim a etapa mais difícil da minha vida, que aconteceram as maiores atribulações que nem poderia imaginar quando me inscrevi no Programa. Os planos de mais alguns anos estudando, me aperfeiçoando, não lembraram de incluir os obstáculos da vida pessoal e profissional. Em contrapartida, foi também com essa experiência que fortaleci a fé e passar do estágio de segurar nas mãos de Deus para aquele em que me coloco no seu colo. Acreditar deu novo ânimo para continuar não mais enfrentando, mas resolvendo as problemáticas para também aproveitar tudo de positivo que a experiência me trouxe. Dividir o tempo para também aproveitar a vida em família e todas as conquistas pessoais que nos acompanham ao longo das nossas jornadas. Assim, percebi que tudo é uma questão de equilíbrio e que tudo sempre será vencido, que tudo será resolvido, no tempo certo. E foi... eis o meu esforço, eis o meu amadurecimento, eis a minha alegria e orgulho em concluir esta tese. Obrigada, Pai, faria tudo de novo”*

Estudos recentes discutem a relação do desempenho térmico e energético das edificações e o desperdício de energia elétrica. Tal relação envolve fatores, como a ventilação natural, uso de sistemas de iluminação e condicionamento artificiais, distribuição de equipamentos por ambientes, propriedades térmicas dos componentes da envoltória arquitetônica, além das variáveis ambientais e comportamentais dos usuários. Diante de um cenário climático quente e úmido, por exemplo, somado a partidos arquitetônicos nem sempre adequados ao clima, vê-se uma crescente necessidade para a utilização do condicionamento artificial como forma de obtenção do conforto térmico. Percebe-se que em algumas regiões quentes e úmidas, particularmente em Maceió/AL, muitas edificações são construídas de modo único, quer sejam ventiladas naturalmente ou climatizadas de forma artificial. Outro aspecto são os ambientes construídos para operarem exclusivamente com climatização artificial. Esses, projetados para operar na sua capacidade máxima, em dias de condições climáticas mais amenas ou com menor taxa de ocupação, resultam em ambientes frios, causando desconforto térmico e consequentemente desperdício de energia. Assim, o objetivo deste trabalho é verificar o impacto da definição da temperatura interna em ambientes escolares condicionados, para o conforto térmico e consumo energético situados no clima quente e úmido. Para isso, foram feitas análises paramétricas baseadas em monitoramento de variáveis ambientais e simulações computacionais termoenergéticas através do programa *Energy Plus*. Foram utilizados equipamentos para medição *in loco* e o arquivo climático TRY de referência para a cidade de Maceió para as simulações, com a finalidade de calcular trocas térmicas e consumo energético da edificação a partir da modelagem de um estudo de caso representativo de edifícios com uso exclusivo de resfriamento artificial. Utilizou-se da variação de alguns elementos do referido edifício e aqueles parâmetros recomendados na literatura, como: Coeficiente de Desempenho (COP) do ar-condicionado, além da absorvância da envoltória, temperatura de acionamento (*setpoint*) dos sistemas de ar-condicionado, variação da orientação e admitindo proteção solar nas aberturas do edifício existente. Através da percepção dos usuários, foi possível fixar a temperatura predita como confortável e, posteriormente, simulá-la quanto ao consumo energético. Os resultados mostraram que não somente os parâmetros físicos da envoltória e implantação no terreno com base na orientação da carta solar impactam na redução do consumo de energia, mas aspectos relacionados à potência do aparelho de ar-condicionado que reduziu cerca de 12% na economia desse consumo.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Desempenho termoenergético. Ambientes climatizados.

## ABSTRACT

---

Recent studies have discussed the relationship between thermal and energetic performances of buildings and the waste of electricity. Such a relationship by factors such as natural ventilation, use of artificial lighting and conditioning systems, equipment distribution across environments, thermal properties of the architectural envelope components, in addition to the users' environmental and behavioral variables. In a hot and humid climate scenario, for instance, wherein architectural design also plays a part in not being suited to the climate, it is observed a growing need for the use of artificial conditioning as a way of obtaining thermal comfort. It can be noticed that, in some hot and humid regions, particularly in the city of Maceió/AL, many buildings are constructed in a single way, whether they are naturally ventilated or artificially climatized. Another aspect concerns the fact that the environments are built to be exclusively with artificial air conditioning. Such places, designed to operate at maximum capacity, result in cold environments on milder climatic days or when there is a lower occupancy rate in them, therefore causing thermal discomfort and energy waste. Thus, the objective of this work is to verify the impact of the definition of internal temperature in conditioned school environments, when they are located in hot and humid climate places, in order to achieve thermal comfort and better power consumption. For that purpose, parametric analyses based on monitoring of environmental variables and computational thermoenergetic simulations were carried out through the software Energy Plus. Equipment for on-site measurement and the TRY reference climate file for the city of Maceió were used in the simulations, with the purpose of calculating thermal changes and energy consumption of the building from the modeling of a representative case study of buildings with exclusive use of artificial cooling. The variation of some elements of the aforementioned building was used, as were the literature recommended parameters, such as: Air conditioning coefficient of performance (COP), besides the envelope absorptance, the activation temperature (setpoint) of air-conditioning systems, orientation variation, assuming there is solar protection in the openings of the existing building. Through the perception of the users, it was possible to set the predicted temperature as comfortable and it could be later simulated in regards to the energy consumption. Results have shown that not only the envelope's physical parameters and the land implantation based on the solar chart impact on the reduction of energy consumption, but it also impacts on aspects related to the air conditioner unit's potency, which reduced around 12% in the savings of this consumption.

**Keywords:** Thermal comfort; Thermoenergetic performance; Climatized environments.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Processos físicos que atuam no equilíbrio térmico.....	34
Tabela 2	Taxas metabólicas.....	40
Tabela 3	Índice de resistência térmica para vestimentas.....	41
Tabela 4	Variáveis que atuam no balanço térmico.....	43
Tabela 5	Escala de sensações do PMV.....	47
Tabela 6	Vazão eficaz mínima de ar interior para ventilação para estabelecimentos de ensino .....	57
Tabela 7	Parâmetros físicos.....	59
Tabela 8	Parâmetros de Conforto.....	60
Tabela 9	Valores da constante A, em função de r (velocidade do ar).....	61
Tabela 10	Valores de COP anual para cada zona bioclimática.....	88
Tabela 11	Principais parâmetros meteorológicos – Maceió/AL.....	95
Tabela 12	Distribuição das salas por pavimento – bloco D.....	103
Tabela 13	Parâmetros de conforto térmico estabelecidos pela NBR 16401-2: 2008.....	105
Tabela 14	Alturas recomendadas para medição de variáveis físicas.....	109
Tabela 15	Propriedades térmicas do vidro.....	117
Tabela 16	Propriedades térmicas das esquadrias.....	117
Tabela 17	Propriedades térmicas do piso.....	117
Tabela 18	Propriedades térmicas das paredes.....	118
Tabela 19	Propriedades térmicas do piso entre pavimentos.....	118
Tabela 20	Propriedades térmicas da laje (coberta).....	119
Tabela 21	Absortância para a fachada.....	119
Tabela 22	Absortâncias utilizadas na simulação.....	120
Tabela 23	<i>Setpoint</i> do estudo de caso.....	131
Tabela 24	Taxas metabólicas.....	131
Tabela 25	Valores numéricos para os parâmetros simulados.....	136
Tabela 26	Dados que caracterizam o período de medição.....	137
Tabela 27	Dados ambientais monitorados.....	139
Tabela 28	Valores das velocidades do ar em P1, P2, P3 e P4 para as salas monitoradas.....	143

Tabela 29	Perfil resumo dos usuários entrevistados.....	146
Tabela 30	Planilha para cálculo do PMV e PPD.....	147
Tabela 31	Dados de PMV e PPD calculados.....	148
Tabela 32	Variáveis medidas por período monitorado, ajustadas.....	149
Tabela 33	Dados ambientais para as temperaturas 20,65°C e 28,52°C.....	151
Tabela 34	Escala de sensações para os diferentes pontos nos ambientes monitorados.....	152
Tabela 35	Índices de PPD monitorados.....	154
Tabela 36	Lista das salas com os equipamentos condicionadores de ar.....	186
Tabela 37	Lista das potências das luminárias das salas.....	187
Tabela 38	Lista das potências dos equipamentos instalados nas salas.....	188
Tabela 39	Lista da quantidade de ocupantes por sala.....	189
Tabela 40	Lista da quantidade de ocupantes por sala.....	190

## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1	Variáveis que atuam no processo de equilíbrio térmico.....	42
Quadro 2	Nomogramas de conforto térmico aplicáveis às edificações.....	45
Quadro 3	Elementos importantes para a elaboração do projeto de climatização.....	63
Quadro 4	Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.....	77
Quadro 5	Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação geral.....	79
Quadro 6	Modelo do Questionário de conforto e aceitabilidade térmica aplicado.....	108
Quadro 7	Modelo da ficha de medição adotada.....	113
Quadro 8	Matriz de simulação.....	133

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1	Gráfico PMV x PPD.....	47
Imagem 2	Intervalos aceitáveis de temperatura operativa (°C) e velocidade do ar (m/s) para as zonas de 0,5 e 1,0 clo.....	50
Imagem 3	Fatores associados à poluição do ar interior.....	55
Imagem 4	Filtro de acordo com a Lei nº 13.589/2018 e NBR 16401.....	58
Imagem 4a	Componentes do filtro G3 e M5.....	58
Imagem 4b	Capa externa – captação do ar.....	58
Imagem 4c	Instalação interna.....	58
Imagem 5	Gráfico da Temperatura Operativa (TO) (correspondente ao PMV=0) em função da vestimenta e da atividade.....	61
Imagem 6	Processo de resfriamento do condicionador de ar.....	64
Imagem 7	Aparelho de janela.....	65
Imagem 8	<i>Split</i> .....	65
Imagem 9	<i>Multisplit</i> .....	66
Imagem 10	<i>Self contained</i> .....	66
Imagem 11	<i>Chiller e fan-coil</i> .....	67
Imagem 12	Porcentagem da população que vive em área urbana, por região (2015) .....	71
Imagem 13	Consumo de energia por setores e regiões do Brasil.....	72
Imagem 14	Principais fatores que motivam a criação de políticas de fomento à eficiência energética.....	75
Imagem 15	Zona Bioclimática.....	76
Imagem 15a	Zona Bioclimática 8.....	76
Imagem 15b	Zonas 9 a 16 – Temperaturas médias anuais entre 20 e 26°C	76
Imagem 16	Irradiação solar espectral.....	84
Imagem 17	Comportamento da carga térmica em função da forma da edificação.....	85
Imagem 18	Índices de compactidade em relação à forma dos edifícios.....	85
Imagem 19	Bloco D – UNIT/AL.....	93
Imagem 20	Mapa do estado de Alagoas com a localização do município de	

	Maceió.....	94
Imagem 21	Valores das temperaturas média máxima, média mínima e média, de acordo com os dados das Normais Climatológicas de Maceió..	95
Imagem 22	Estudo da ventilação natural nos edifícios do Campus da UNIT/AL.....	97
Imagem 22a	Sem aberturas.....	97
Imagem 22b	Somente portas abertas.....	97
Imagem 22c	Portas e janelas abertas.....	97
Imagem 23	Alunos com sobreposição de roupas.....	97
Imagem 24	Vista do Centro Universitário Tiradentes (UNIT) .....	98
Imagem 25	Implantação UNIT – localização dos blocos.....	99
Imagem 26	Planta baixa do campus UNIT em Maceió/AL com indicação dos blocos.....	99
Imagem 27	Fachada do Bloco D.....	100
Imagem 28	Fachada Noroeste e Sudeste.....	100
Imagem 29	Fachada Nordeste e Sudoeste.....	100
Imagem 30	Distribuição das salas por andar – bloco D – UNIT.....	101
Imagem 31	Salas de aula do Bloco D – UNIT.....	102
Imagem 31a	Salas de aula.....	102
Imagem 31b	Sala de desenho.....	102
Imagem 32	Salas de aula do Bloco D – UNIT.....	102
Imagem 32a	Laboratório de informática/sala de aula.....	102
Imagem 32b	Conforto/sala de aula.....	102
Imagem 33	Salas de aula do Bloco D – UNIT.....	102
Imagem 33a	Atelier/sala de aula.....	102
Imagme 33b	Sala de aula.....	102
Imagem 34	Instrumentos de medição.....	106
Imagem 34a	Medidor de estresse térmico (Modelo TGD-200) .....	106
Imagem 34b	Registradores micro processados (HOBO HT-70) .....	106
Imagem 34c	Termo-anemômetro digital (TAD-500) .....	106
Imagem 35	Planta baixa laboratório de desenho – 18D.....	110
Imagem 36	Planta baixa laboratório de desenho – 19D.....	110
Imagme 37	Planta baixa ateliê de desenho – 40D.....	110

Imagem 38	Planta baixa sala de aula – 49D.....	111
Imagem 39	Cronograma de medições e aplicação do questionário.....	112
Imagem 40	Calculadora <i>on-line</i> utilizada para a obtenção dos índices PMV e PPD.....	114
Imagem 41	Átrio do bloco D – UNIT/AL.....	116
Imagem 42	Coberta e sua modelagem para o átrio do bloco D – UNIT/AL....	116
Imagem 43	Absortâncias para paredes e coberturas.....	121
Imagem 43a	Coberta do Bloco D – UNIT.....	121
Imagem 43b	Fachada do Bloco D – UNIT.....	121
Imagem 44	(S1) Orientação atual – 9°.....	122
Imagem 45	(S2) Orientação (0°) – maior fachada Leste e Oeste.....	122
Imagem 46	(S3) Orientação (0°) – menor fachada Leste e Oeste.....	123
Imagem 47	(S4) Orientação (45°) – maior fachada a Noroeste e Sudeste.....	123
Imagem 48	(S5) Orientação – menor fachada a Noroeste e Sudeste.....	123
Imagem 49	100% de proteção par as aberturas.....	124
Imagem 50	50% de proteção par as aberturas.....	125
Imagem 51	30% de proteção par as aberturas.....	127
Imagem 52	Temperatura e precipitação para fevereiro de 2020 – Maceió/AL.	137
Imagem 53	Temperatura e precipitação para março de 2020 – Maceió/AL.....	138
Imagem 54	Gráfico da temperatura do ar monitorada.....	139
Imagem 55	Gráfico da temperatura de globo monitorada.....	140
Imagem 56	Gráfico da temperatura radiante média.....	140
Imagem 57	Gráfico da frequência da temperatura do ar monitorada.....	140
Imagem 58	Gráfico da umidade relativa do ar monitorada.....	141
Imagem 59	Gráfico da frequência da umidade do ar monitorada.....	141
Imagem 60	Gráfico da velocidade do ar monitorada.....	141
Imagem 61	Gráfico da frequência da velocidade do ar monitorada.....	142
Imagem 62	Gráfico da frequência da velocidade do ar pela temperatura.....	142
Imagem 63	Polígono resultante das variáveis ambientais estudadas.....	144
Imagem 64	Gráfico da distribuição do gênero dos usuários pesquisados.....	144
Imagem 65	Gráfico da distribuição da idade dos usuários pesquisados.....	145
Imagem 66	Gráfico da distribuição do peso dos usuários pesquisados.....	145
Imagem 67	Gráfico da distribuição da altura dos usuários pesquisados.....	146

Imagem 68	Gráfico da sensação térmica dos usuários em relação à temperatura do ar.....	150
Imagem 69	Frequência da sensação térmica por ponto na sala.....	151
Imagem 70	Sensação térmica por ponto na sala (por período monitorado).....	153
Imagem 71	Gráfico da aceitabilidade dos usuários em relação à temperatura do ar.....	155
Imagem 72	Gráfico da preferência térmica.....	156
Imagem 73	Calibração do <i>Energy Plus</i> .....	157
Imagem 74	Disposição das orientações das fachadas para simulação.....	157
Imagem 74a	Orientação (0°) – maior fachada Leste e Oeste.....	157
Imagem 74b	Orientação (90°) – menor fachada Leste e Oeste.....	157
Imagem 74c	Orientação (45°) – maior fachada a Noroeste e Sudeste.....	157
Imagem 74d	Orientação (45°) – menor fachada a Noroeste e Sudeste.....	159
Imagem 75	Variação no consumo energético com base na orientação a partir de uma temperatura anual.....	158
Imagem 76	Variação no consumo energético com base na orientação a partir de duas temperaturas anuais.....	159
Imagem 77	Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	160
Imagem 78	Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	161
Imagem 79	Variação no consumo energético com base na alteração da absorvância a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	162
Imagem 80	Variação no consumo energético com base na alteração da absorvância a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	162
Imagem 81	Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	163
Imagem 82	Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	163
Imagem 83	Variação no consumo energético com base na proteção solar a partir de uma temperatura anual para o sistema.....	164
Imagem 84	Variação no consumo energético com base na proteção solar a	

partir de duas temperaturas anuais para o sistema.....

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>1.1 Objetivos</b> .....	26
1.1.1 Geral .....	26
1.1.2 Específicos.....	26
<b>1.2 Estrutura da tese</b> .....	27
1.2.1 Revisão bibliográfica e documental .....	27
1.2.2 Materiais e métodos.....	27
1.2.3 Resultados e discussões .....	27
1.2.4 Conclusões.....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL</b> .....	29
<b>2.1 Estudo do conforto térmico</b> .....	30
2.1.1 Equilíbrio Térmico .....	31
2.1.2 aplicação da bioclimatologia às edificações .....	43
2.1.3 Refrigeração.....	51
2.1.3.1 Condicionamento de ar.....	52
2.1.3.2 Qualidade do ar em ambiente climatizado .....	54
2.1.3.3 Condições de conforto térmico em ambientes condicionados.....	58
2.1.3.4 Dimensionando os sistemas condicionadores de ar.....	62
2.1.3.5 Modelos de condicionadores de ar .....	64
2.1.4 Comportamento do usuário na definição da temperatura do ac para o conforto térmico.....	67
2.1.5 O contexto das escolas nos estudos do conforto térmico .....	67
<b>2.2 Eficiência energética</b> .....	70
2.2.1 Arquitetura e a eficiência energética .....	73
2.2.2 Normas de desempenho e regulamentos da eficiência energética.....	75
2.2.2.1 Norma brasileira de desempenho térmico .....	75
2.2.2.2 Regulamento de eficiência energética .....	78
2.2.3 Comportamento do usuário e eficiência energética.....	79
<b>2.3 Simulação termoenergética</b> .....	81
2.3.1 Arquivo climático de referência TRY para Maceió .....	81
2.3.2 O programa <i>EnergyPlus</i> .....	81
2.3.3 Parâmetros para simulação .....	82

2.3.3.1	Parâmetro térmico.....	82
2.3.3.2	Parâmetros geométricos.....	84
2.3.3.3	Carga térmica interna.....	88
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>91</b>
<b>3.1</b>	<b>Avaliação do conforto térmico</b> .....	<b>93</b>
3.1.1	Caracterização climática.....	94
3.1.2	Estudo de caso .....	96
3.1.3	Experimento.....	104
<b>3.2</b>	<b>Simulação termoenergética</b> .....	<b>115</b>
3.2.1	Parâmetros simulados: estudo de caso.....	116
3.2.1.1	Propriedades térmicas dos componentes da envoltória .....	116
3.2.1.2	Componentes geométricos.....	121
3.2.1.3	Carga térmica – estudo de caso .....	128
3.2.1.4	Matriz de simulação.....	132
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS</b> .....	<b>134</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do experimento</b> .....	<b>136</b>
4.1.1	Monitoramentos.....	136
4.1.2	Condições climáticas registradas pelo INMET .....	137
4.1.3	Variáveis ambientais monitoradas.....	138
4.1.4	Perfil dos usuários definido pelas variáveis pessoais ou psicofisiológicas .....	144
<b>4.2</b>	<b>Análise das sensações previstas</b> .....	<b>146</b>
4.2.1	Análise com base no modelo PMV-PPD.....	146
4.2.2	Modelo da temperatura efetiva padrão .....	148
4.2.3	Respostas dos usuários .....	149
4.2.3.1	Sensação térmica .....	150
4.2.3.2	Aceitabilidade térmica.....	155
4.2.3.3	Preferência térmica .....	155
<b>4.3</b>	<b>Simulações energéticas</b> .....	<b>156</b>
4.3.1	Simulação alterando a orientação do edifício.....	157
4.3.2	Simulação alterando o COP do edifício .....	159
4.3.3	Simulação alterando a absorvância do edifício .....	160
4.3.4	Simulação propondo proteção solar nas aberturas do edifício .....	162

<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	165
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	170
<b>APÊNDICES</b> .....	185
APÊNDICE A – Tabela 36 – Lista das salas com os equipamentos condicionadores de ar .....	186
<b>ANEXOS</b> .....	207
<b>ANEXO 1</b> - Equatorial.....	208
<b>ANEXO 2</b> – Autorização da pesquisa.....	210
<b>ANEXO 3</b> – Solicitação de autorização da pesquisa .....	211
<b>ANEXO 4</b> – Parecer Consubstanciado do CEP .....	212

# **INTRODUÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

---

O conforto térmico é um estudo que teve seu início no século XX e caracteriza-se pela determinação de valores limites que integrem o homem ao meio sem ganho ou perda de calor. Objetivando atingir tal situação, encontram-se hoje na literatura alguns indicadores de como é possível abrigar, sob condições de conforto ambiental, usuários nas mais diferentes atividades executadas.

Índices e modelos matemáticos de previsão de (des)conforto térmico foram desenvolvidos (GÓMEZ; GIL; JABALOYES, 2004; WATKINSON; GILL; HULME, 2004; KIANG *et al.*, 2006). Muitos estudos (LORSCH; ABDU, 1994; BATIZ *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2015; ZHANG *et al.*, 2017) investigaram, por exemplo, a influência desses parâmetros ambientais adversos para o aumento na produtividade das atividades propostas. Comprovaram que há uma variação positiva quando há melhores condições térmicas. Para Nicol (2007), edifícios termicamente desconfortáveis, além de interferirem na saúde e bem-estar dos usuários, acarretam na adoção de estratégias que comprometem a economia de energia da edificação.

Na busca pela determinação desses parâmetros ambientais, concomitantemente entra em discussão o consumo de energia elétrica que passa a preocupar ambientalistas e profissionais da área engajados em discussões mundiais, como indica o relatório do estudo anual da BP – *Statistical Review of World Energy* (ABREU, 2018). O documento conclui que só em 2017, o consumo de energia mundial cresceu 2,2%, em relação a 2013, com um aumento de 3% no consumo de gás natural.

Desde o pós-guerra houve a disseminação das “edificações controladas”, caracterizadas pelo uso de iluminação artificial e condicionamento de ar. O aumento significativo dessas edificações nas cidades e todo o processo de urbanização estimularam as pesquisas acerca do clima urbano e suas mudanças. Muitos desses estudos (SHAHIDAN *et al.*, 2012; FUTCHER; KERSHAW; MILLS, 2013; MURAKAMI, 2004; GAITANI; MIHALAKAKOU; SANTAMOURIS, 2007; TALEGHANI *et al.*, 2013; TEREKI; OZKAN; EICKER, 2013; SANCHEZ; SALMERÓN; ALVAREZ, 2006; SUN; AUGENBROE, 2014) relacionados ao clima urbano tentam entender melhor os efeitos das altas temperaturas.

O aumento dos efeitos da ilha de calor urbana (ICH) influenciou significativamente a habitabilidade urbana, fazendo crescer o consumo de energia devido à necessidade de resfriamento artificial (LIAO *et al.*, 2015; ROAF; NICOL;

HUMPHREYS, 2010; CÂNDIDO *et al.*, 2010; DE DEAR, 2012; SAMAN *et al.*, 2013). Segundo Sun e Agenbro (*apud* LIAO *et al.*, 2015), o grau de resfriamento de 15 grandes cidades dos EUA é maior que as dos distritos rurais em 25,3%, em média, devido ao efeito ICH.

No Brasil, já em 2007, Ghisi, Gosch e Lamberts, o uso da energia elétrica nas residências para destinada ao aparelho de ar-condicionado era de 10%, considerando-o ainda como uma faixa variável dependendo de fatores climáticos. Em 2013, segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA, estimava-se o uso do ar-condicionado em edifícios comerciais representando entre 30% a 40% do consumo total de energia.

Em tempos de industrialização, o conforto térmico foi tido como um produto entregue através de dutos e produzido por máquinas (NICOL; ROAF, 2017). Hoje, com o elevado custo da energia, o impacto da climatização artificial passou a ser questionado (SOUSA; LEDER, 2019).

De acordo com a ABRAVA, entre 2012 e 2013, as vendas de aparelhos de ar-condicionado do tipo *Splits* aumentaram em 35% e em 15% os modelos de janela, tendo sido comercializados 4,3 milhões de condicionadores de ar para o setor residencial (ABRAVA, 2014).

Nos (2015 *apud* VECCHI, 2015) afirma que o ar-condicionado foi apontado como um dos responsáveis pela interrupção na distribuição de energia elétrica que ocorreu em dez estados brasileiros e o Distrito Federal, em janeiro de 2015, quando a demanda de energia elétrica bateu recorde e ficou acima do programado.

Segundo o Dr. Fatih Birol, para a Cubi Energia (2018), o consumo energético do ar-condicionado é considerado um dos maiores pontos cegos no cenário da eficiência energética global. Isso porque a projeção é de que, em 2050, cerca de 70% dos lares do planeta tenham pelo menos um condicionador de ar. Ainda de acordo com Dr. Fatih Birol, no Brasil, a estimativa é de um crescimento de 27 milhões de unidades em operação, em 2018, para 165 milhões, em 2050. Com esse aumento, o ar-condicionado é apontado como responsável pelo maior crescimento na demanda energética total de edificações até 2050.

O crescimento acelerado de ambientes refrigerados implica, segundo Press (2015), na liberação de gases hidrofluorcarbonos (HFC) mais potentes do que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em aprisionar gases de efeito estufa na atmosfera, apontados como

responsáveis pelo aquecimento global. Tal efeito reflete no aumento considerável do consumo de energia elétrica e a consequente escassez de recursos naturais.

Além disso, o exagerado desperdício de energia provoca um número significativo de reclamações em edificações comerciais pelo desconforto térmico (ASHRAE, 2011), que pode ser agravado com a utilização dos sistemas centrais, pois na maioria dos casos apresentam um resfriamento exagerado no verão e aquecimento desnecessário no inverno (KEITH *et al.*, 2006; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2011 *apud* VECCHI, 2015).

Segundo estudos de Wan *et al.* (2009), a umidade relativa exerce mais influência sobre a sensação de conforto que a temperatura interna, concluindo que o consumo de energia em edifícios com ar-condicionado poderia ser reduzido com o controle dessa variável ambiental.

O que as pesquisas também sinalizam neste contexto é que, assim como o clima urbano e suas mudanças podem influenciar o desempenho termoenergético da edificação, há o parâmetro ligado ao processo de adaptação do indivíduo, que pode caracterizar as sensações de conforto (DE DEAR *et al.*, 2015; MISHRA; RAMGOPAL, 2015b). E é por isso que Perillo, Campos e Abreu-Harbich (2017) recomendam que, em regiões de clima tropical, deva-se utilizar mais de um método de avaliação do conforto térmico.

No âmbito destas análises sobressaem-se aquelas realizadas em edificações escolares, por reunirem elementos capazes de serem isolados para uma pesquisa. Justificativa dada também pela facilidade de isolamento de variáveis, bem como o registro do elevado consumo de energia elétrica pelo uso de sistemas de iluminação e condicionamento de ar (EPE, 2017a; 2017b) e, nem por isso, segundo Rupp *et al.* (2015), conseguem proporcionar conforto térmico para seus usuários/alunos.

Recentemente, com a crise atual enfrentada pelo mundo na pandemia causada pelo COVID-19<sup>1</sup>, Dr. Fatih Birol (2020), Diretor da Agência Internacional de Energia (IEA), destacou em seu artigo a importância da energia elétrica como fator indispensável à vida humana, e que, portanto, precisa fazer garantir que os sistemas de amanhã permaneçam confiáveis. Dessa forma, deve-se conhecer melhor os sistemas

---

<sup>1</sup>A COVID-19 é uma doença causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, que apresenta um quadro clínico que varia de infecções assintomáticas a quadros respiratórios graves. Assim denominada porque foi descoberta no ano de 2019.

consumidores de energia elétrica para que possam ser racionalmente controlados e posteriormente utilizados.

Nos últimos anos, muitos países vêm desenvolvendo normas e regulamentos para avaliar o desempenho termoenergético com o objetivo de reduzir o consumo de energia nas edificações. Sabe-se que esse desempenho é influenciado pelos sistemas de iluminação, distribuição de equipamentos por ambientes, propriedades térmicas dos componentes da envoltória arquitetônica, além das variáveis ambientais e comportamentos dos usuários e que, portanto, precisam ser melhor investigadas quanto sua atuação no processo.

Muitos foram os estudos que analisaram a influência das características da envoltória das edificações (MATOS, 2007; PEREIRA, 2009; SORGATO, 2009; BATISTA, 2011; OLIVEIRA, 2012; SILVA; GHISI, 2013; SILVA; GHISI, 2014). Segundo Fabi *et al.* (2012), o comportamento do usuário exerce papel fundamental no estudo do desempenho térmico e energético, na medida em que interage com os sistemas de iluminação, ventilação, condicionamento artificial, aberturas das janelas e com os dispositivos de sombreamento delas. Porém, quando o usuário não pode interagir com os sistemas, permanecendo em ambientes com condições fixas, é preciso que as edificações proporcionem condições de conforto aos seus ocupantes.

A situação indica que fixar determinadas temperaturas para os ambientes ainda não possui padrão efetivamente comprovado para a satisfação do conforto térmico e as pesquisas, neste âmbito, ainda precisam avançar, como afirma Rupp *et al.* (2015). A discussão precisa considerar os limites da sensação de conforto dos indivíduos analisando até que ponto eles desejam interferir e interagir com o ambiente. Essa interação com o meio pode variar desde o abrir ou fechar janelas e persianas, sobreposição de roupas ou retirá-las, além de ligar/desligar/controlar condicionadores de ar.

De maneira geral, Monteiro (2015, p.27) destaca que ações de interatividade entre usuário e ambiente produzem edifícios de menor impacto ambiental. Complementa ainda, afirmando que “grandes economias de energia, além de uma melhor qualidade ambiental, podem ser alcançadas com as práticas de adaptação”, descritas pelo *modelo adaptativo* de conforto, que ainda será discutido neste trabalho.

Outro fator associado ao processo de adaptação é a expectativa do usuário para determinadas condições ambientais internas, nas quais uma grande quantidade de energia consumida pode ser economizada sem que a qualidade ambiental seja

comprometida. Marcondes *et al.* (2010 *apud* MONTEIRO, 2015), em seus experimentos, conseguiram demonstrar essa redução na demanda energética para o resfriamento anual em ambientes de trabalho para o clima da cidade do Rio de Janeiro. Para isso alteraram a temperatura de 24°C para 26° e a umidade relativa de 50% para 65%, o que só foi possível devido a mudanças na concepção do edifício para se adequar melhor ao clima local.

Seguindo, portanto, os avanços dos estudos quanto aos novos padrões para definição do conforto térmico e seu rebatimento na eficiência energética, o presente trabalho procura estudar como determinados parâmetros influenciam o consumo de energia. Entre eles, citam-se: Coeficiente de Desempenho (COP) do ar-condicionado, absorvância da envoltória, temperatura de acionamento (*setpoint*) dos sistemas de ar-condicionado, variação da orientação e a proposição de uma proteção solar nas aberturas para um edifício existente. A relação da percepção dos usuários e a sensação de conforto térmico previsto pelos índices de conforto térmico serão avaliadas de modo a quantificar as preferências térmicas (preferências de temperaturas/*setpoints*) por esses ambientes termicamente controlados. Para isso, fixaram-se os seguintes objetivos geral e específicos:

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Verificar o impacto da definição da temperatura de *setpoint* para o conforto térmico e para o consumo energético, em ambientes condicionados situados no clima quente e úmido.

### **1.1.2 Específicos**

- Examinar eventuais discrepâncias existentes entre a sensação de conforto térmico prevista pelas normas e a literatura, e a real percepção dos usuários locais em relação à definição de temperaturas para sistemas condicionadores de ar.
- Quantificar a economia de energia para diferentes configurações do edifício no quanto à orientação; cor das superfícies externas da envoltória emprego de proteção solar e opacidade da cobertura;
- Examinar a diferença significativa no consumo de energia quando se altera a potência do condicionador de ar.

## 1.2 Estrutura da tese

O presente estudo apresenta a seguinte divisão de estrutura:

### 1.2.1 Revisão bibliográfica e documental

Esta seção foi dividida em três assuntos essenciais à análise pretendida: conforto térmico, refrigeração e eficiência energética. No primeiro momento, estuda-se o conforto térmico para que seja feita a sua contextualização e importância para o trabalho pretendido. Neste sentido, baseou-se em algumas pesquisas de campo com parâmetros ambientais que orientasse a análise e a sua importância no cenário estudado. No segundo momento, a pesquisa evoluiu para o estudo dos sistemas de refrigeração e sua determinação, de maneira a entender os efeitos desse sistema, não somente para o conforto térmico, como também seu desdobramento na eficiência energética. Último assunto abordado, a eficiência energética comprovou a importância e a necessidade de um estudo integrado para que se obtenham os melhores resultados para o conforto ambiental. As pesquisas para ambos os assuntos foram feitas por meio de livros, artigos científicos, teses, dissertações e normas técnicas.

### 1.2.2 Materiais e métodos

Nesta seção, foram levantados os dados da estrutura física existente que foi adotada como meio para a investigação do estudo de caso. Posteriormente, fez-se a coleta de dados através de monitoramentos de variáveis ambientais em paralelo à aplicação de questionários. Por fim, foi realizada a simulação computacional através da ferramenta computacional *Energy Plus*, na qual foi modelado um edifício existente e em diferentes situações com o objetivo de encontrar a situação no contexto que une conforto térmico + eficiência energética. Para isso, também foi feita uma análise do clima local para que todo o estudo fosse compatível à realidade da edificação estudada.

### 1.2.3 Resultados e discussões

Neste item, todos os dados gerados através das simulações computacionais, bem como aqueles resultantes de respostas dos usuários aos questionários aplicados, foram analisados e discutidos quanto à sua relevância para a economia de energia e para o conforto dos usuários.

#### 1.2.4 Conclusões

O item final trata do percentual de influência dos parâmetros que interferem diretamente no consumo atual de energia elétrica para a edificação localizada em clima quente e úmido.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL**

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL

---

A revisão bibliográfica apresenta uma discussão quanto às recomendações para obtenção do conforto térmico e sua relação com ambientes climatizados. Além disso, discute quanto à determinação dos sistemas condicionadores de ar, bem como a influência de elementos, como: orientação, *setpoint*, absorvância e proteção solar, para consumo energético e suas implicações quanto ao consumo de energia e à eficiência energética das edificações.

Para isso, tornou-se imprescindível aprofundar, não somente abordagens quanto aos índices de conforto térmico e equilíbrio térmico, mas aqueles referentes aos sistemas condicionadores de ar. Devido à popularização desses aparelhos desde a década de 1970, ele passou a ser utilizado como artifício para controlar variáveis ambientais e “garantir” o conforto térmico. Tornou-se necessário, portanto, a discussão quanto à crise energética.

Para que o estudo pudesse ser caracterizado com bases quantitativas, utilizou-se uma edificação escolar por reunir a maior parte das variáveis necessárias para a investigação pretendida. O contexto histórico arquitetônico enquadra-se pelo perfil de volumetria influenciada pela importação de estratégias construtivas. Além disso, caracteriza-se por possuir seu uso estritamente dependente de condicionamento artificial como forma de proporcionar o conforto térmico de seus usuários.

### 2.1 Estudo do conforto térmico

A realização do processo de troca de calor do homem com o meio ambiente que o cerca, está associado à sensação de conforto térmico. Nesse processo, ganhar ou perder energia pode significar sensações de conforto ou desconforto térmico para o indivíduo, assim como a assimetria de temperaturas nas diversas partes do corpo humano. Para De Dear *et al.* (2013), o conforto térmico é a variável que diretamente influencia a sensação dos usuários, sendo considerada, portanto, a mais influente na avaliação do pós-ocupação em edificações.

No Brasil, os estudos do conforto térmico iniciaram, historicamente em 1931, com o primeiro estudo de campo feito por Paulo Sá no Rio de Janeiro, e Benjamim Ribeiro, em 1939, em São Paulo (OLIVEIRA, 2003). As pesquisas foram realizadas em edifícios escolares e os resultados obtidos foram mais tarde utilizados por Michael

Humphreys, que relacionou o campo de conforto térmico com os demais estudos já realizados para o mundo.

Em 1970, Fanger definiu que o conforto térmico é dado quando o indivíduo se encontra sob condições tais em que nenhum tipo de desconforto para o frio ou para o calor seja experimentado. E de lá para cá muitos estudos foram desenvolvidos com o objetivo único de contextualizar a situação de conforto experimentada pelo usuário de determinada edificação. Utilizando o conceito de Fanger, a ISO 7730 (2005) propõe um método para prever a sensação térmica e o grau de desconforto térmico das pessoas expostas a condições térmicas moderadas (PMV); bem como em condições térmicas inaceitáveis (PPD), realizada em câmaras climatizadas, o método permanece inalterado até os dias de hoje.

Em 1977, Koenigsberger *et al.* afirmaram que conforto térmico pode ser definido como a sensação de bem-estar completo, físico e mental, e que por sua vez funcionam como incentivo para que o projetista se esforce para consegui-lo. Seguindo essa linha de pensamento, Tanabe (1998) avaliou o conforto como sendo um estado de espírito que traduz a satisfação de conforto como um todo. E em 1992, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* – a ASHRAE Standard (1992), norma que especifica as combinações dos parâmetros de conforto térmico que devem ser atendidas para que o ambiente propicie um nível de satisfação para, no mínimo, 80% dos ocupantes, definiu conforto térmico como uma “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Reafirmando, vieram os estudos de Fountain, Brager e De Dear (1996), que definiram que conforto é um estado da mente e não uma condição exclusivamente fisiológica.

Para Hensen (1991), o conforto térmico não deve ser experimentado por qualquer impulso comportamental que interfira nas propriedades térmicas do ambiente, pois, como complementa Frota e Schiffer (2003), o organismo humano deverá experimentar a sensação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perder para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade.

Para Araújo (2001), a sensação de conforto térmico está associada com o ritmo de troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, otimizando o desempenho durante qualquer tipo de atividade, desde que o ambiente propicie condições de conforto e que sejam evitadas sensações desagradáveis, como: dificuldades de eliminar o excesso de

calor produzido pelo organismo, perda exagerada de calor pelo corpo e desigualdade de temperatura entre as diversas partes do corpo.

As normas internacionais citadas, ASHRAE 55 (2017) e ISO 7730 (2005), utilizaram definições de Fanger (1970) e Tanabe (1998) e permanecem inalteradas até o presente momento. Além delas, outros estudos foram desenvolvidos e por muito tempo utilizados como referência para determinar limites superiores e inferiores de conforto térmico.

Oliveira (2006) destaca que muitas pesquisas já foram desenvolvidas objetivando definir limites de temperatura que chamou de “confortáveis” em várias partes do mundo, com ênfase para a base de dados da ASHRAE. Por outro lado, a metodologia de investigação do conforto térmico começa a assumir nova postura, avançando para o denominado *modelo adaptativo*. Esses estudos relacionam a base científica com limites de conforto influenciados pelo processo de aclimação dos indivíduos.

Ao longo dos anos, constata-se que os estudos foram sendo ampliados e adaptados. Algumas análises do conforto térmico consideravam o equilíbrio de variáveis físicas (evaporação, convecção, radiação e condução), subjetivas (idade e gênero, e forma do corpo), ambientais (temperatura do ar ou temperatura de bulbo seco, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar); e pessoais (metabolismo e tipo de vestimenta). Outras, paralelamente, foram realizadas considerando influência de fatores psicológicos, como a expectativa de conforto térmico associado ao costume por uso de determinado método de resfriamento/aquecimento, ou sua relação à produtividade no trabalho, sobre as variáveis físicas.

Porém, o que chama a atenção com a evolução dos estudos, é a definição proposta por Paulo Sá, ainda em 1936, na qual afirma que a real sensação de conforto térmico é dinâmica e, portanto, variável a cada cenário climático (OLIVEIRA, 2003). Parece que o pesquisador já antevia um novo percurso para o processo de investigação quanto ao conforto térmico.

Um ambiente proporciona conforto térmico quando este atinge o chamado equilíbrio térmico entre usuário, edificação e clima. Seu estudo está ligado tanto à satisfação humana em se sentir confortável quanto às variáveis físicas e ambientais que compõem o quadro das exigências humanas e índices de conforto térmico. Os parâmetros pessoais ou psicofisiológicos, como vestimenta, peso e gênero, são influenciados pelos fatores ambientais, como temperatura, umidade e velocidade do ar,

que se relacionam entre si no período de aclimação do indivíduo ao meio que o cerca, absorvendo as características climáticas locais.

Dessa forma, julga-se necessário, na compreensão do estudo do conforto térmico, conhecer os índices que atuam no equilíbrio térmico.

### **2.1.1 Equilíbrio Térmico**

As atividades que envolvem a rotina do homem podem ter graus maiores ou menores de dificuldades, de acordo com as condições climáticas (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977), tendo em vista o esforço biológico de adaptação a tais condições (calor ou frio excessivos), a energia do corpo humano pode aumentar ou diminuir, resultando nas sensações de frio ou calor para o indivíduo. Além disso, de acordo com a localização geográfica, a aclimação afeta a zona de conforto elevando as exigências térmicas (OLGYAY, 1998).

Realizando atividade ou não, o corpo humano gera calor que deverá ser dissipado para o meio, que por sua vez deve apresentar condições favoráveis a essa troca de calor. Para manter o corpo em equilíbrio térmico, o corpo humano através de suas características homeotérmicas, possui capacidade de manter a temperatura corporal equilibrada e constante, próximo a 37°C.

Para Van Marken Lichtenbelt e Kingma (2013), a zona de neutralidade térmica é definida pelos parâmetros fisiológicos, como suor e metabolismo e não pela sensação térmica individual. Esta seria influenciada, além do metabolismo, como já citado anteriormente, pela idade, gênero, entre outros, variando entre condições e entre indivíduos (KINGMA; FRIJNS; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2012).

Para que o equilíbrio se mantenha, é necessário que alguns processos atuem em conjunto para que não haja perdas e ganhos em excesso e alguma sensação de desconforto seja experimentada. Dessa forma, é preciso reconhecer como esses processos atuam no corpo humano. A finalidade é saber intervir na melhoria dos parâmetros que agem diretamente no equilíbrio térmico. Para tal, serão discutidas: variáveis físicas, subjetivas e ambientais.

#### **i) Variáveis físicas**

Para que o equilíbrio térmico seja atingido, uma parte da produção de calor gerada pelo corpo deve ser dissipada ao ambiente, a fim de que não acarrete o aumento exagerado da temperatura interna. A dissipação do calor para o meio se dá através de mecanismos de trocas térmicas medidas através dos índices biofísicos.

Os processos físicos que auxiliam o corpo humano a dissipar o calor e atingir o equilíbrio térmico são (Tabela 1):

**Tabela 1 – Processos físicos que atuam no equilíbrio térmico**

Através da pele	Através da respiração
Convecção (C) – calor sensível*	Convecção ( $C_{res}$ ) – calor sensível*
Radiação (R) – calor sensível*	Evaporação ( $E_{res}$ ) – calor latente* (suor)
Evaporação ( $E_{sk}$ ) – calor latente* (suor)	

Obs.: O calor fornecido a um corpo que gera apenas variação de temperatura é denominado de sensível; caso haja mudança de fase, o calor será chamado de latente.

#### **a) Evaporação**

Depende da umidade do ar (quanto mais seco é o ar, mais rápida é a evaporação). A evaporação é responsável por cerca de 20% do calor do corpo perdido para o meio. Devido à alta umidade do clima quente e úmido, o processo das trocas térmicas por evaporação tem seu potencial reduzido como estratégia de resfriamento. No entanto, segundo Bittencourt e Cândido (2008), algum resfriamento pode ser obtido nas tardes de verão, quando a umidade relativa do ar não é tão alta (em torno de 60%). Além disso, havendo ventilação, mesmo o ar apresentando um alto teor de umidade relativa, ainda é possível obter algum resfriamento por evaporação do suor.

#### **b) Convecção**

Transmissão de calor do corpo para o ar que está em contato com a pele ou a vestimenta. A proporção da perda de calor aumenta quanto mais rápido for o movimento do ar. Pode-se, portanto, sugerir que salas com maior número de ocupantes tronam-se termicamente mais desconfortáveis pela obstrução ao movimento do ar, que aquelas com menor número deles.

#### **c) Radiação**

Depende da temperatura da superfície do corpo e da temperatura das superfícies opostas. Segundo Coutinho (1998), o efeito da radiação sobre as superfícies pode ser usado para equilibrar temperaturas extremas do ar. Nas regiões de climas quentes e úmidos a alta umidade e o céu parcialmente nublado interferem no processo de radiação para o resfriamento do edifício.

Ao estar em ambientes de superfícies mais frias que a temperatura do ar e da pele humana, o usuário tenderá a perder parte desse calor, por radiação, para o ambiente. Ao permanecer em locais com superfícies mais quentes haverá ganho de calor

pelo usuário que tenderá a sentir-se desconfortável, caso a temperatura do ar seja elevada.

Por isso, é muito importante para esse processo, considerar os processos construtivos de acordo com as estratégias bioclimáticas de projeto.

#### d) Condução

Esse processo ocorre entre edificação e o solo e dependerá da sua composição e do teor de umidade, que para regiões de clima quente e úmido é geralmente alta (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2008). A nível do usuário (corpo) dependerá das superfícies existentes no interior do ambiente quanto a sua condutividade, já que a transmissão se dá por diferença de temperatura entre superfícies.

#### e) Inércia térmica

Entende-se por inércia térmica, a propriedade de retardar a transmissão de calor de um meio a outro, através de uma componente da edificação. Em habitações, as estratégias baseadas na inércia térmica não são muito eficientes em regiões de clima quente e úmido, devido à pequena oscilação diária da temperatura, mas podem ser interessantes em construções de uso apenas diário (BITTENCOURT, 1993).

Para que os processos acima descritos culminem no equilíbrio térmico pelo organismo humano é necessário que se consiga a neutralidade térmica. Segundo a ASHRAE (1997), a neutralidade pode ser determinada por [Eq. 01]:

$$\mathbf{M - W = q_{sk} + q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res})} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde:

**M** = taxa metabólica de produção de calor, W/m<sup>2</sup>;

**W** = taxa de eficiência mecânica, W/m<sup>2</sup>;

**q<sub>sk</sub>** = taxa total de perda de calor pela pele, W/m<sup>2</sup>;

**q<sub>res</sub>** = taxa total de perda de calor através da respiração, W/m<sup>2</sup>;

**C + R** = perda de calor sensível pela pele (convecção + radiação), W/m<sup>2</sup>;

**E<sub>sk</sub>** = taxa de perda de calor total por evaporação do suor, W/m<sup>2</sup>;

**C<sub>res</sub>** = taxa de perda de calor latente por convecção, W/m<sup>2</sup>;

**E<sub>res</sub>** = taxa de perda de calor latente por evaporação, W/m<sup>2</sup>;

Apesar de a neutralidade térmica ser uma condição necessária para o conforto térmico, ela não é suficiente (FANGER, 1970). A temperatura neutra pode ser definida

como a temperatura na qual o indivíduo não deseje nem mais calor e nem mais frio no ambiente ao qual se encontra (FANGER, 2001).

O equilíbrio térmico, neste caso, é então atingido quando uma parte da produção de calor gerada pelo corpo é dissipada ao ambiente, a fim de que não acarrete o aumento exagerado da temperatura interna. Portanto, o ambiente atua como aliado em todo esse processo e é nele onde também ficam condicionadas as ações das variáveis ambientais, que serão tratadas no item a seguir.

## **ii) Variáveis ambientais**

As variáveis ambientais são aquelas referentes às condições termo climáticas do ambiente pesquisado. De acordo com a ISO 7730 (2005), definem-se: temperatura do ar, temperatura radiante média, temperatura de globo, umidade do ar e velocidade do ar. Através delas determinam-se índices importantes para a análise do conforto térmico, como os que foram utilizados nesta pesquisa. São elas:

### **a) Temperatura do ar (ta) ou temperatura de bulbo seco (TBS), em °C**

A temperatura do ar é resultante da relação entre as taxas de aquecimento e esfriamento da superfície da terra. Dessa forma, participam dessa relação os processos de evaporação, convecção e condução constituindo o balanço térmico da superfície da terra. Pode ser medida através de sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de resistência variável ou termopares (XAVIER, 1999).

### **b) Temperatura radiante média (trm), em °C**

É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação do corpo é igual à troca de calor por radiação num ambiente real não uniforme. O instrumento utilizado para determinar essa variável é o termômetro de globo (negro), e a temperatura média radiante é então obtida por observações dos valores simultâneos da temperatura de globo e da temperatura e velocidade do ar ao redor do globo (XAVIER, 1999).

Para se obter os valores da temperatura radiante média foram calculados os dados das medições simultâneas da temperatura de globo e da velocidade do ar, aplicados na Equação 02.

$$tr = [ (tg + 273) + 2,5 \times 10^8 \times Va^{0.6} \times (tg - ta) ]^{1/4} + 273 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde:

tr – temperatura radiante

tg – temperatura de globo

Va – velocidade do ar

ta – temperatura do ar

**c) Temperatura de globo (IBUTG), em °C**

Através do termômetro de globo pode-se medir o calor existente no ambiente de trabalho e posteriormente auxiliar na determinação da temperatura radiante média.

**d) Umidade relativa do ar (UR), em %**

A umidade relativa revela a quantidade de vapor de água no ar. Se o ar contém todo o vapor de água que comporta para uma dada temperatura, diz-se que o ar se encontra saturado e sua umidade relativa seria de 100%. Pode ser expressa das seguintes maneiras: umidade absoluta, umidade específica (peso do vapor de água por unidade de peso de ar – g/kg), pressão de vapor (parte da pressão atmosférica global que é devida ao vapor de água) e umidade relativa (%).

A umidade relaciona-se ao vapor d'água contido no ar e na pressão atmosférica. Para uma dada temperatura, uma massa de ar só pode conter uma quantidade limitada de vapor. Além deste limite, o ar fica saturado ocorrendo a condensação. Quanto mais quente é o ar, mais ele pode conter vapor d'água. Os dados meteorológicos fornecem em geral a umidade relativa do ar, que é a relação entre o peso da água contida no ar (umidade absoluta) e o peso máximo de água que ele poderia conter na mesma temperatura (OLIVEIRA; OTTO, 1995).

Influi na troca térmica entre o organismo e o ambiente através do processo de evaporação. É medida através de um psicrômetro (equipamento que mede a temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido).

**e) Velocidade do ar (Va), em m/s**

É uma importante variável no estudo do conforto térmico, por interferir nos processos de convecção, condução e evaporação sofridos pelos usuários nos ambientes. Pode ser medida através dos termoanemômetros (anemômetros térmicos sensíveis a baixas velocidades), anemômetros de pás giratórias (utilizados para correntes unidirecionais e velocidade suficiente para vencer a inércia da pá giratória = 1m/s) e os anemômetros de pás basculantes (SALIBA, 2000).

Segundo Olgay (1970), o movimento do ar afeta o corpo humano, não diminui sua temperatura, mas provoca uma sensação de frescor, devido à perda de calor por

convecção e ao aumento da evaporação do suor do corpo. Na medida em que o movimento do ar aumenta, o limite superior de conforto se eleva.

A ventilação pode ocorrer sob dois processos: natural ou mecânico. Através do meio natural, o ar se movimenta em função da diferença de pressão estática ou dinâmica. A ventilação mecânica é aquela conseguida através dos meios mecânicos, como: ventiladores, exaustores etc.

Em climas quentes pode ser utilizado para resfriar o edifício mantendo a qualidade do ar nos ambientes internos, através da remoção do calor no interior da edificação decorrente de ganhos internos e externos, bem como possibilitar o resfriamento fisiológico do indivíduo (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

Os movimentos do ar aceleram as trocas de calor entre as pessoas e o ambiente por convecção e por evaporação. É um instrumento de controle térmico dos ambientes e de salubridade. Segundo Mascaró (1985), é indispensável que se conheçam e apliquem técnicas de projeto e cálculo de ventilação natural dos edifícios, com a dupla finalidade de oferecer conforto ao usuário e otimizar o uso da energia na edificação.

O estudo das variáveis de conforto térmico é complementado pelas variáveis subjetivas que se modificam de acordo com o indivíduo e dividem-se nos aspectos: idade, gênero e forma do corpo, como serão vistos a seguir.

### **iii) Variáveis subjetivas**

Além dos processos físicos ao qual o corpo está submetido, das quais depende seu estado de conforto, há as variáveis ou índices subjetivos, que segundo Frota e Schiffer (2003), se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas nas condições em que os elementos de conforto térmico variam. De acordo com Koenigsberger *et al.* (1977), as variáveis subjetivas foram definidas por:

**a) Idade e gênero:** as pessoas mais velhas possuem um metabolismo mais lento e por isso preferem temperaturas mais altas. Segundo Olgyay (1998), as pessoas com idades superiores a 40 anos preferem geralmente temperaturas um grau mais alto que os homens ou mulheres de idade inferior. A mulher possui um metabolismo inferior ao do homem e em geral se sente confortável 1°C mais alto que a preferência masculina. A pesquisa de Wang (2005) confirma essa variação de 1°C para temperatura operacional neutra entre homens e mulheres. Outra pesquisa realizada em uma sala de aula e um laboratório de uma escola em Chipre, para diferentes estações do ano, constatou essa interferência do metabolismo na sensação de conforto térmico de acordo com o gênero.

Katafygiotou e Serghides (2014) constataram que, durante o inverno, as meninas foram mais sensíveis às temperaturas mais baixas. Já no verão, os meninos eram mais sensíveis a altas temperaturas, sentindo desconforto para o calor mais que as meninas. Em Silva (2010), os estudos indicaram que a sensação de conforto térmico afeta negativamente a execução de atividades de ocupantes, principalmente para as mulheres. Os estudos de Karjalainen (2007; 2012) também apontam para o maior desconforto das mulheres para o frio e menor tolerância para o calor.

**b) Forma do corpo:** uma pessoa corpulenta tem menos tolerância que uma pessoa alta de mesmo peso – relação superfície-volume. Sendo a pele o principal órgão termo-regulador do organismo, no qual há a regulação do fluxo sanguíneo, a temperatura se eleva quanto mais intenso o fluxo (LAMBERTS *et al.*, 2016). Através da pele, os mecanismos de proteção do indivíduo – mecanismos de termorregulação – são ativados, sendo definidos pela vasoconstrição (volume de sangue e ritmo cardíaco reduzido provocando o arrepios) e pela vasodilatação (aumento do volume de sangue e do ritmo cardíaco provocando a transpiração).

Um estudo de Fadeyi (2014) comprovou que pessoas com sobrepeso, quando expostas a ambientes com sistema de ar-condicionado central, sentiram-se mais aquecidas comparadas a pessoas com peso normal. Estas também relataram uma maior aceitabilidade térmica do ambiente que aquelas com sobrepeso.

De acordo com essa afirmação, Menegatti, Rupp e Ghisi (2018) avaliaram como o índice de massa corpórea (IMC) e a frequência de atividades físicas interferem na sensação, preferência, conforto e aceitabilidade térmica de pessoas que trabalham em escritórios com ventilação híbrida ou que operam com sistema de ar-condicionado central. A pesquisa comprovou que há correlação significativa entre IMC e sensação térmica, preferência térmica e conforto térmico, pois os indivíduos com maior IMC sentiram o ambiente mais aquecido e preferindo ambientes mais resfriados.

Outro estudo definiu temperaturas neutras preferidas para cada grupo de ocupantes estudados no clima subtropical do Brasil, segundo os valores de IMC, estabelecendo: 24,6°C para indivíduos com "peso normal"; 22,9°C para indivíduos "acima do peso" e 21,9°C para indivíduos "obesos", indicando que o aumento do IMC diminui o valor da temperatura neutra preferida (VECCHI, 2015).

Todas as variáveis estudadas serão, por sua vez, influenciadas pela atividade e pela roupa do indivíduo, denominadas de variáveis pessoais.

#### iv) Variáveis pessoais

Tanto a força física do homem como sua atividade mental são mais bem desenvolvidas quando as condições ou variáveis ambientais do entorno encontram-se dentro de um limite determinado. Fora dele, a eficácia pode decrescer e a possibilidade de contrair enfermidades aumenta.

**a) Metabolismo (depende da atividade):** consiste na produção de energia pelo indivíduo através de elementos combustíveis orgânicos. No entanto, dessa produção, apenas 20% transformam-se em energia para o próprio organismo, sendo os 80% restantes dissipados em forma de calor para o meio ambiente, devido à condição de equilíbrio térmico, já tratado anteriormente. A ISO 7730 (2005) disponibiliza uma tabela (Tabela 2) na qual estão estabelecidos valores para o calor dissipado para o meio em  $W/m^2$  e Met (1 Met = 58.15  $W/m^2$ ).

**Tabela 2 – Taxas metabólicas**

Atividades	Taxas Metabólicas	
	$W/m^2$	Met
- reclinado, deitado;	46	0,8
- sentado, relaxado;	58	1,0
- atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório);	70	1,2
- atividade leve em pé (compras, laboratório, indústria leve);	93	1,6
- atividade média em pé (balconista, trabalho doméstico, e máquinas);	116	2,0
- andando em nível:		
2 km/h;	110	1,9
3 km/h;	140	2,4
4 km/h;	165	2,8
5 km/h;	200	3,4

Fonte: ISO 7730 (2005).

**b) Tipo de vestimenta utilizada:** a roupa oferece uma eficiente proteção contra radiação solar, atuando semelhante a uma segunda pele representando uma barreira para as trocas de calor (RAMON, 1980). Pelo processo de condução, o calor da pele passa para a roupa em contato com ela, pelo ar pressionado. Já com a roupa folgada, o calor chega até a vestimenta através da circulação do ar, por convecção.

De modo a quantificar as peças e unidades de vestimentas utilizadas pelo homem, foi criado por Fanger (1970), um esquema que vai desde o nu (0 clo) até uma vestimenta completa (3 clo) para situações de frio intenso. Sua unidade é o clo, originada de *clothing* = roupa. Assim: 1 clo =  $0,155m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

A ISO 7730 (2005) determinou alguns índices de resistência térmica, oferecidos por algumas peças de roupa (Tabela 3). De acordo com as normas de conforto térmico ASHRAE 55a (2013), ISO 7730 (2005) e de medições, ISO 7726 (1998), alguns parâmetros importantes foram definidos:

**Tabela 3 – Índice de resistência térmica para vestimentas**

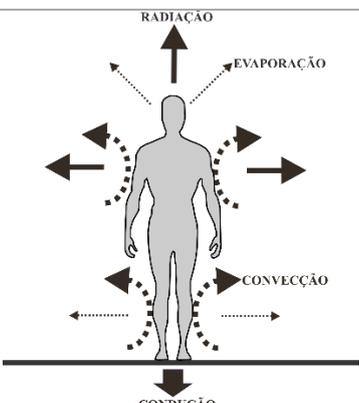
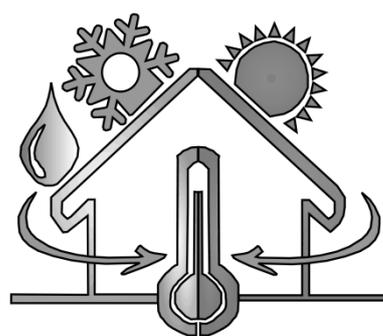
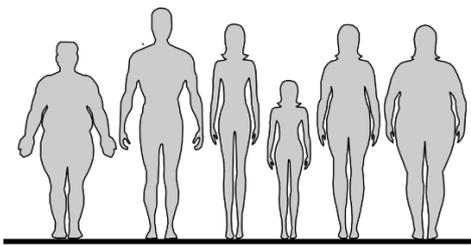
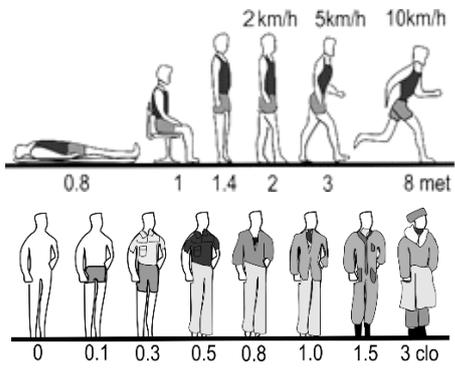
<b>Vestimenta</b>	<b>Índice de resistência térmica – Icl (1994)</b>
Meia calça	0,10
Meia fina	0,03
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Cuecão longo	0,10
Camiseta de baixo	0,09
Camisa de baixo mangas compridas	0,12
Camisa manga curta	0,15
Camisa fina mangas compridas	0,20
Camisa manga comprida	0,25
Camisa flanela manga comprida	0,30
Blusa com mangas compridas	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Vestido grosso manga comprida	0,40
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Calça flanela	0,28
Sapatos	0,04

Fonte: ISO 7730 (2005).

As variáveis estudadas servem de parâmetro para a análise das preferências térmicas de usuários monitorados. Pela determinação do perfil dos entrevistados é possível avaliar a influência de uma ou outra variável para o conforto térmico.

Assim, para a conclusão do estudo proposto, serão considerados os aspectos descritos no processo de trocas térmicas para obtenção do conforto térmico, que se resumem como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis que atuam no processo de equilíbrio térmico

VARIÁVEIS QUE ATUAM NO PROCESSO DO EQUILÍBRIO TÉRMICO	
<b>i) FÍSICAS</b>	<b>ii) AMBIENTAIS</b>
A dissipação do calor para o meio se dá através de mecanismos de trocas térmicas (condução, radiação, convecção, evaporação e radiação).	Condições de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.
	
<b>iii) SUBJETIVAS</b>	<b>iv) PESSOAIS</b>
De acordo com Koenigsberger <i>et al.</i> (1977), as variáveis subjetivas foram definidas por: idade, gênero e forma do corpo	Podem interferir através do metabolismo e do tipo de vestimenta
	

Fonte: Adaptado pela autora

A ISO/DIS 7726 (1998) relaciona as perdas e ganhos de calor pelo organismo através das principais variáveis envolvidas no balanço térmico, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis que atuam no balanço térmico

Elementos do balanço térmico	Variáveis							
	$t_a$	$t_r$	$V_a$	$p_a$	$I_{cl}$	$R_{cl}$	M	W
	temp.do ar	temp. rad média	veloc. do ar	Umid. absol.ar	Isolam. roupas	Resist. evap.	Taxa metabólica	Trabalho mecânico
Produção de calor orgânico (M-W)							X	X
Transferência por radiação (R)		X			X			
Transferência por convecção (R)	X		X		X			
Evaporação pela pele (E)			X	X		X		
Evaporação pela respiração ( $E_{res}$ )				X			X	

Fonte: ISO/DIS 7726 (1998).

Foi a partir de estudos envolvendo pessoas em ambientes controlados, que muitos limites de conforto térmico foram definidos através de representações gráficas conhecidas por nomogramas ou zonas de conforto. No entanto, seu uso deve ser limitado às condições climaticamente semelhantes.

### 2.1.2 Aplicação da bioclimatologia às edificações

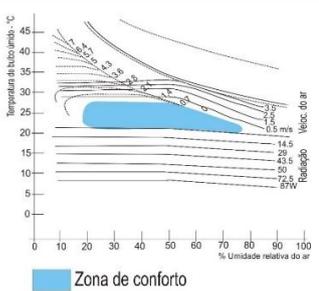
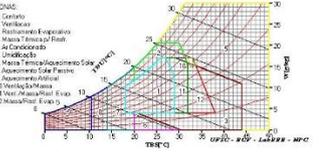
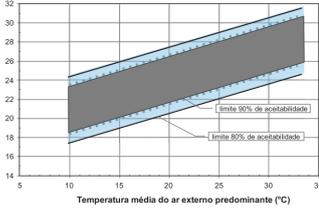
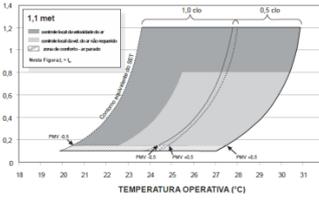
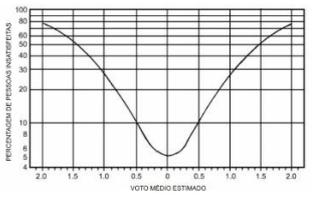
Quando se tenta avaliar a resultante das condições térmicas de um ambiente sobre o homem, é necessário que se façam medições quanto às variáveis do ambiente e as reações humanas a tais condições. Através dos índices de conforto térmico é possível relacionar as variáveis que influenciam nas trocas térmicas entre o corpo e o meio, permitindo quantificar as consequências dessa exposição, de modo a estabelecer relações entre o indivíduo e as condições que julguem necessárias para atingir uma satisfação térmica.

Muitos foram os estudos realizados em ambientes com condições climáticas internas controladas, juntamente com a avaliação subjetiva, através da aplicação de questionários avaliando desde condições muito quentes a muito frias (WANG, 2005; KARJALAINEN, 2007; ARAÚJO, 2008; ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010; CĂTĂLINA; BANU, 2014; KATAFYGIOTOU; SERGHIDES, 2014; SILVA, 2010; KARJALAINEN, 2012; RUPP *et al.*, 2015). Após o tratamento estatístico desses dados é que se criaram escalas para o conforto térmico (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

Os índices e zonas de conforto são elaborados com base em pesquisas realizadas com determinada população, realizando certa atividade, com determinada vestimenta e condições climáticas específicas. Os resultados servem de referência, porém, não devem ser aplicados diretamente em outras situações climáticas e/ou outra população. Estudos de De Dear *et al.* (2013) indicam que a ampliação do uso de índices de conforto térmico que utilizem outras variáveis além da temperatura do ar, como temperatura operativa (TO) e a temperatura efetiva padrão (SET) é importante para a evolução na análise de ambientes de melhores sistemas.

Dessa forma, fez-se uma breve avaliação quanto aos métodos bioclimáticos (Quadro 2) que poderia(m) ser validado(s) para serem utilizados na análise dos dados, como será posteriormente descrito no item da metodologia. Com base no Quadro 2, concluem-se os estudos que serão aprofundados nesta pesquisa, sendo eles justificados quanto a sua aplicabilidade à temática proposta.

**Quadro 2 – Nomogramas de conforto térmico aplicáveis às edificações**

	DIAGRAMAÇÃO	CONTEXTUALIZAÇÃO	APLICAÇÃO
<b>OLGYAY</b>		<p>Indica estratégias de adaptação da edificação ao clima, utilizando dados externos. O uso da zona de conforto proposta é <b>aplicável a habitantes da zona temperada dos EUA</b> com vestimenta comum equivalente a 1 CLO, exercendo atividades leves ou sedentárias.</p>	
<b>GIVONI</b>		<p>Segundo Givoni (1992), a carta bioclimática desenvolvida por ele corrigiu as limitações do modelo de Olgay. Foi desenvolvida com base em temperaturas internas para um <b>edifício sem climatização artificial</b>.</p>	
<b>MOD. ADAPTATIVO</b>		<p>A ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) <b>define o uso desse modelo apenas para edifícios naturalmente ventilados</b>.</p>	
<b>TEMP. EFETIVA PADRÃO</b>		<p>Criada em 1923 por Houghten e Yaglou nos EUA, para ambientes internos com pessoas normalmente vestidas, em trabalho leve e se referindo aos habitantes de regiões de climas quentes, foi adaptada por Koenigsberger <i>et al.</i> (1977). Após a inclusão de diferentes níveis de atividade e vestimenta, é substituída pela Temperatura Efetiva Padrão (ARAÚJO, 2001). Segundo a revisão da norma brasileira NBR 16401-2 (ABNT, 2019) é <b>indicada para ambientes com uso de ar-condicionado com velocidade do ar superior a 0,20m/s</b>.</p>	
<b>PMV-PPD</b>		<p>Estima o grau de (des)conforto dos ocupantes para um dado ambiente, de acordo com as condições térmicas preferidas pela maioria das pessoas. O modelo serve como parâmetro para normas internacionais para <b>ambientes com ar condicionado</b>. Segundo a Norma Brasileira NBR 16401-2 (ABNT, 2019), <b>indicada para avaliar as condições térmicas em ambientes com uso de ar-condicionado</b>.</p>	

Fonte: Adaptado pela autora

Para ambientes condicionados artificialmente, de acordo com a NBR 16401-2 (ABNT, 2019), devem ser utilizados dois modelos para análise do ambiente térmico: o PMV-PPD e SET (Temperatura Efetiva Padrão). O PMV (voto médio predito) prevê a sensação térmica dos usuários com cálculos a partir das seguintes variáveis: MET, CLO,  $T_{ar}$  (Temperatura do ar),  $T_r$  (Temperatura radiante), UR (Umidade Relativa) e  $V_{ar}$  (Velocidade do ar). A revisão da NBR 16401-2 (ABNT, 2019) e os modelos de conforto térmico presentes nas normas internacionais têm como objetivo prever condições térmicas para ambientes de modo a gerar conforto para a maioria dos usuários. De Vecchi (2015), em seu estudo, indica aplicação do modelo adaptativo para ambientes que operam de modo misto, porém o estudo de caso desta tese faz uso exclusivo do ar-condicionado como estratégia de resfriamento, portanto, utilizará os métodos do PMV-PPD e SET.

Deste modo, o estudo de caso desta tese utilizou os modelos PMV-PPD e o SET como ferramentas de análise para o conforto térmico dos ambientes monitorados por mostrarem-se complementares às situações estudadas, como será apresentado no item da *Apresentação e discussão dos dados*.

Como forma de conhecer um pouco mais quanto à sua aplicabilidade, os dois modelos serão melhor apresentados nos itens a seguir.

### **i) Modelo PMV-PPD**

Utilizando-se dos resultados dos experimentos produzidos na Universidade Estadual de Kansas (EUA), Fanger (1970) elaborou relações entre o Voto Médio Previsto e o Percentual de Pessoas Insatisfeitas (ARAÚJO, 1996). O *Predicted Mean Vote* (PMV – Voto Médio Predito) e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD – Percentual de Pessoas Insatisfeitas), estimam o grau de desconforto dos ocupantes de um dado ambiente, a partir de análises estatísticas de condições térmicas preferidas pela maioria das pessoas.

Trata-se de um estudo analítico desenvolvido por Fanger (1970), com base numa pesquisa realizada em câmara climatizada que teve como objetivo prever a sensação térmica média para um grupo de pessoas de maneira a ser utilizado, universalmente, em ambientes internos. Segundo o autor, para um dado ambiente sempre haverá, no mínimo, 5% de pessoas insatisfeitas com relação ao ambiente térmico. A teoria então desenvolvida ficou conhecida como Modelo do PMV-PPD ou Modelo do balanço térmico (XAVIER, 2000) e serve de base para normas internacionais como ISO 7730

(2005) e ASHRAE 55 (2013) para ambientes que utilizam ar-condicionado. O PMV é obtido pelas respostas de ocupantes de determinado ambiente térmico, representadas na escala sétima da ASHRAE (Tabela 5) e pode ser calculado conforme a Equação 03 (ASHRAE Fundamentals cap. 8 – 2005).

**Tabela 5 – Escala de sensações do PMV**

+3	<b>muito quente</b>
+2	<b>quente</b>
+1	<b>levemente quente</b>
0	<b>neutro</b>
1	<b>levemente com frio</b>
2	<b>frio</b>
3	<b>muito frio</b>

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2017).

$$\text{PMV} = [0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028] \cdot L \quad \text{Eq. 03}$$

Onde:

PMV = Voto médio predito (adimensional)

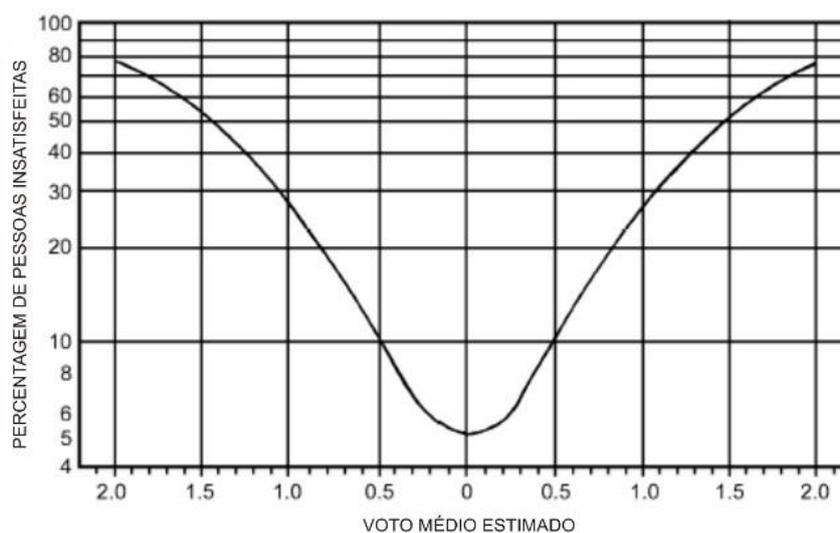
M = Carga desempenhada pelo indivíduo (W/m<sup>2</sup>)

L = Carga térmica atuante sobre o corpo (W/m<sup>2</sup>)

Já o PPD estima a quantidade de pessoas insatisfeitas com o ambiente termicamente. Para sua avaliação, também se utiliza a escala sétima das sensações da ASHRAE (2017) e relaciona-se com o PMV pela Equação 04 e graficamente pela Imagem 1.

$$\text{PPD} = 100 - 95 \cdot \exp \cdot [- (0,03353 \times \text{PMV}^4 + 0,2179 \times \text{PMV}^2)] \quad \text{Eq. 04}$$

**Imagem 1 – Gráfico PMV x PPD**



Fonte: NBR 16401-2 (ABNT, 2019).

Através da Imagem 1 é possível prever a porcentagem de pessoas insatisfeitas pela sua correspondência ao PMV. De acordo com a ISO 7730 (2005), o intervalo “aceitável” para o PMV varia entre -0,5 e +0,5, correspondendo a um PPD inferior a 10%. Ou seja, estariam em conforto aqueles usuários que respondessem a um leve desconforto para o calor até aqueles que indicassem leve desconforto para o frio.

Algumas pesquisas têm divergido dos resultados do modelo do PMV, que segundo Xavier (2000), o fato se dá pela caracterização climática diferente daquela empregada nos estudos posteriores, visto que os de Fanger foram realizados em câmaras climáticas, como já mencionado.

Um estudo utilizando o método de Fanger para um escritório na Malásia identificou como principal resultante o super resfriamento (DAGHIGH; SOPHIAN, 2009). Outro estudo analisou a aplicabilidade do modelo de Fanger para usuários de escritórios com ar-condicionado durante o inverno para clima subtropical (com verões quentes e úmidos e inverno ameno) e os resultados sugeriram a impossibilidade da utilização do modelo, visto que o mesmo avaliou o ambiente como desconfortável, enquanto a sensação real térmica registrada pelos votos demonstrou o contrário (RUPP *et al.*, 2015). Assim, a investigação concluiu que o modelo PMV-PPD não indica adequadamente a sensação para pessoas localizadas em ambientes de regiões de clima quente ou para temperaturas mais altas.

Outros dois estudos propuseram confrontar os índices e zonas de conforto térmico comumente utilizados, porém com objetivos diferentes. Araújo (1996) determinou os parâmetros das variáveis ambientais que propiciam conforto térmico, a partir da técnica de avaliação pós-ocupação junto aos usuários escolares na cidade de Natal, estado do Rio Grande do Norte, no Nordeste brasileiro. O trabalho desenvolvido por Araújo (2008) analisou o limite inferior das zonas de conforto propostas e representadas em nomogramas de conforto térmico. Para isso, utilizou ambientes de sala de aula localizadas na cidade de Maceió/AL, para o isolamento de variáveis, como vestimenta, idade e peso. Os dois estudos plotaram os dados monitorados no diagrama psicrométrico, confrontando a zona de conforto proposta por Givoni (1992).

Araújo (1996) confirma a hipótese levantada de que os modelos são adequados às condições nas quais foram desenvolvidos e que muitos dos índices e zonas de conforto térmico, conhecidos e utilizados no país, foram definidos para as condições climáticas e aplicações distintas daquelas encontradas nas regiões brasileiras.

Araújo (2008) afirmou que a velocidade do ar foi a variável mais influente na sensação de frio relatada pelos usuários, norteados as sensações preferidas por eles. Os registros indicaram que quando as temperaturas, máxima e mínima, atingiam valores próximos a 24,5°C e 26,5°C, respectivamente, a velocidade do ar apresentou seus valores mais altos (entre 0,2-0,6 m/s e 0,02-0,9 m/s, respectivamente). Com isso, para estas duas temperaturas, o leve desconforto para o frio foi mais frequente entre os entrevistados. Já em registros de temperaturas em torno de 25,5°C e com valores mais baixos das médias da velocidade do ar (entre 0,19m/s e 1,57m/s), a sensação de leve desconforto mais comum foi para o calor.

## **ii) Modelo da Temperatura Efetiva Padrão(SET)**

Criada em 1923 por Houghton e Yaglou, quando trabalhavam na *American Society of Heating and Ventilating Engineers* (ASHVE), a Temperatura Efetiva combina temperatura e umidade em um único índice. Segundo Monteiro (2015), ainda é dos índices ambientais existentes, o mais comumente utilizado até hoje. Seu nomograma é composto pela relação entre temperaturas do ar, umidade e velocidade do ar estabelecendo as sensações de conforto.

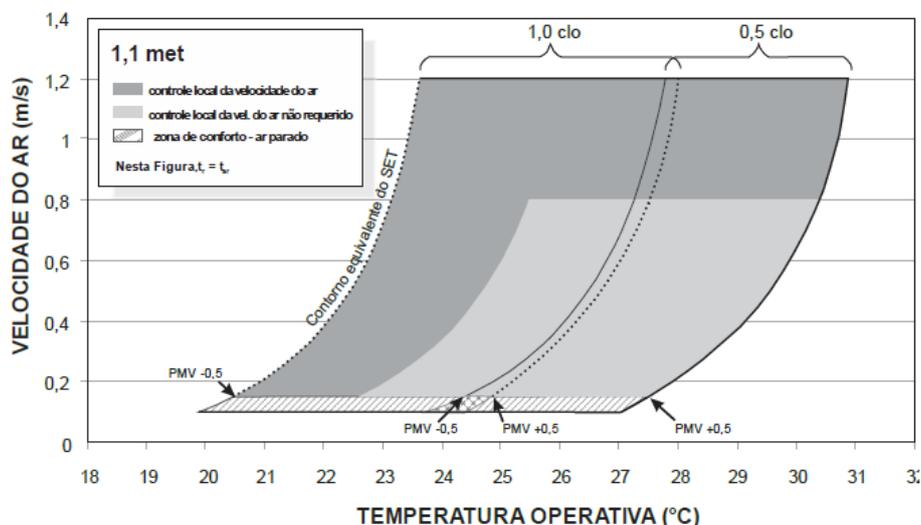
Em 1932, Vernon e Warner, propuseram correções a TE, recebendo esta a denominação de Temperatura Efetiva Corrigida (CET – *Corrected Effective Temperature*). Na CET, a temperatura de bulbo seco foi substituída pela temperatura do termômetro de globo incluindo os efeitos da radiação.

Em 1971, a TEC é substituída pela Nova Temperatura Efetiva (ET – *Effective Temperature*), pela ASHRAE Standard 55 para determinar o intervalo de conforto (RUAS, 2001). De acordo com Araújo (2001), na ET são incluídos diferentes níveis de atividade e vestimenta substituindo-a pela Temperatura Efetiva Padrão (SET – *Standard Effective Temperature Star*). A SET é então definida “como a temperatura de um ambiente térmico equivalente a 50% de umidade relativa, em que uma pessoa que veste uma roupa padronizada para a atividade em questão tem o mesmo estresse térmico”. (MONTEIRO, 2015).

Em seu método gráfico pode ter a zona de conforto proposta no nomograma (Imagem 2) analisada sob os dados ambientais monitorados em ambiente real plotados sobre ela. Dessa forma, os dados colhidos em ambiente real poderão ser discutidos com base na zona de conforto definida a partir de estudos para regiões de clima quente. Além disso, a ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017) indica que o índice SET seja

usado para avaliar o conforto térmico, onde os valores da velocidade de ar forem superiores a 0,20m/s.

**Imagem 2 – Intervalos aceitáveis de temperatura operativa (°C) e velocidade do ar (m/s) para as zonas de 0,5 e 1,0 clo**



Fonte: NBR 16401-2 (ABNT, 2019).

A ASHRAE standard-55 (ASHRAE, 2017) determina que o SET seja calculado pela primeira vez a partir das condições reais. Em seguida, o valor calculado do SET deve ser mantido e a velocidade média do ar (aferida) deve ser substituída pela velocidade onde o ar é imóvel (a Norma indica 0,10m/s). Após essas alterações, a temperatura média do ar e a temperatura radiante serão ajustadas de acordo com o efeito do resfriamento (EC). O efeito de resfriamento da velocidade do ar elevada é o valor que, quando subtraído igualmente da temperatura média do ar e da temperatura média radiante, produz como resultado um valor de SET para o ar parado idêntico ao SET calculado inicialmente para o ambiente sob velocidade do ar elevada.

Esse protocolo de correção permite o uso do índice desenvolvido por Ole Fanger (*Predicted Mean Vote* – PMV) para a avaliação do conforto térmico no ambiente mesmo quando a velocidade do ar ultrapassar os limites de aplicabilidade da equação do PMV.

Portanto, percebe-se que os nomogramas estão constantemente sendo utilizados para confrontar os dados indicados por eles e aqueles medidos em ambientes reais, concluindo sua eficácia ou que são valores superestimados. Neste estudo foi utilizado o modelo analítico para ambientes condicionados, como indicado pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017) e pela NBR 16401-2: 2019 (ABNT, 2019).

### 2.1.3 Refrigeração

A refrigeração consiste em manter a temperatura de um sistema a uma temperatura inferior à do meio ambiente. No entanto, selecionar tal modelo implica no levantamento de questões, como: tipo de ambiente, custos e manutenção. Um edifício com ventilação inadequada ou má distribuição de ar pode interferir, por exemplo, na produtividade do usuário, comprometer a vida útil de um equipamento, além do desperdício de energia.

A ASHRAE (2013) define a refrigeração como sendo o processo que retira calor de um corpo no qual se deseja reduzir ou controlar a temperatura, transferindo-o para outro ambiente no qual esse calor não seja prejudicial. Para a ABNT (NBR 16401-1:2008), “o condicionamento de ar é o processo de tratamento do ar interior em espaços fechados. Esse processo objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a velocidade, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente.”

Após a disseminação do novo coronavírus (SARS-CoV-2) pelo mundo, os sistemas de climatização precisaram ser especialmente verificados devido à capacidade de tornar os ambientes contaminantes. Segundo a Nota Técnica nº 3 da ANVISA (2020), “o vírus se propaga pelo ar por meio de gotículas suspensas e os sistemas de climatização podem vir a ser um veículo de disseminação de microorganismos quando houver falhas, especialmente, na sua manutenção.” Para que as falhas sejam evitadas, é necessário que os serviços de manutenção preventiva e corretiva sejam efetivamente cumpridos, conforme indicado no Plano de Operação, Manutenção e Controle (PMOC)<sup>2</sup>.

A Nota ainda reforça que alguns ambientes sem climatização ou ventilação são improdutivos e prejudiciais à saúde. Quanto ao uso de equipamentos sem dutos, do tipo *Split*, afirma: “Por serem muito comuns em ambientes como residências, restaurantes, salões de beleza, lojas, clínicas de atendimento médico, escolas e até em hospitais, para estes locais, uma avaliação criteriosa quanto à permanência de seu uso deve ser realizada”

Estudos desenvolvidos em salas de aula constataram importante relação entre ambientes termicamente confortáveis e a produtividade dos alunos. Cătălina e Banu (2014) fizeram um estudo avaliando o desempenho intelectual de estudantes variando

---

<sup>2</sup> “Todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes de ar interior climatizado artificialmente devem dispor de um Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) dos respectivos sistemas de climatização, visando à eliminação ou minimização de riscos potenciais à saúde dos ocupantes.” (BRASIL, 2020).

condições ambientais internas. A pesquisa revelou que a temperatura do ar próxima a 21°C resultou em maior desempenho dentre aqueles registrados. Schneider (2002) concluiu em seu estudo, que a temperatura ideal pode aumentar em até 14% o desempenho acadêmico dos alunos.

A climatização surge, portanto, com o intuito de oferecer condições de salubridade e de conforto térmico a seus ocupantes. Para climas particularmente quentes e úmidos, como no caso de Maceió/AL, o aparelho condicionador de ar é comumente utilizado para refrigerar e desumidificar o ar, visto que reduz a quantidade de umidade presente no ar e é, segundo Costa (1991), obtido por meios químicos e por absorção.

O ar-condicionado contribui para a manutenção asséptica em ambientes, garantindo a qualidade do ar, como recomenda a Agência Nacional da Vigilância Sanitária (ANVISA, 2012)<sup>3</sup> e a Portaria nº 3.523/98<sup>4</sup> do Ministério da Saúde. O item 2.2.1 tratará mais detalhadamente quanto às recomendações para a obtenção da qualidade do ar em ambientes climatizados, dispostas nesses documentos.

### **2.1.3.1 Condicionamento de ar**

Historicamente, o aparelho de ar-condicionado surgiu pela necessidade de tornar constantes as condições térmicas de ambientes internos. Data desde a antiga Roma, segundo Gomez (2019), um sistema similar na qual a água de aquedutos circulava através das paredes de determinadas casas para resfriá-las. Já na China do século II, foi criado um ventilador rotativo também com a finalidade de resfriamento do ar. Mas foi em 1902 que o engenheiro norte-americano Willis Carrier inventou o aparelho de ar-condicionado, uma invenção moderna que controlava a temperatura e a umidade através de serpentinas resfriadas artificialmente. Desde então, com inovações e descobertas, o ar-condicionado popularizou-se nas residências a partir de 1950, com o surgimento de aparelhos de janela (WEBARCONDICIONADO, 2019).

A popularização ocorreu de modo fácil, pois também se reconhecem muitos fatores positivos no uso desses dispositivos. Dentre eles é possível citar: possibilidade de maior conforto a funcionários e clientes de empresas; melhores condições de recuperação para debilitados em centros cirúrgicos, unidades de tratamento intensivo e nas salas de recuperação hospitalares e clínicas; melhoria no funcionamento e vida útil de alguns equipamentos e máquinas industriais, entre outros.

---

<sup>3</sup> A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2013), através da Resolução nº 9 regulamenta projetos, manutenção, instalação e elaboração de sistemas de ar-condicionados.

<sup>4</sup> Portaria que dispõe sobre a qualidade do ar em ambientes climatizados.

No entanto, seu uso deixa de ser eficiente e os sistemas são sobrecarregados ou superdimensionados ocasionando desperdício de energia elétrica, além da poluição atmosférica pela emissão de gases poluentes. Muitos aparelhos não cumprem a função de renovar o ar, seja pela manutenção irregular ou pela escolha do tipo de aparelho condicionador de ar. Esses são alguns dos fatores que têm gerado discussões nos meios acadêmicos.

Muitas pesquisas (SILVA, 2017; HECKSHER; FERRAZ, 2016; SOUZA SOARES, 2008; YU, 2009; TAUB, 1970) têm discutido a problemática acima descrita no âmbito da Síndrome do Edifício Doente (SED). A Organização Mundial da Saúde (OMS), no início dos anos 1980 (WHO, 1983), já indicava a relação entre os sistemas de ventilação mecânica e a SED, cujos sintomas, no indivíduo debilitado, desaparecem quando a pessoa deixa de frequentar o ambiente. “O termo SED é usado para descrever situações nas quais os ocupantes de um determinado edifício experimentam efeitos adversos à saúde e ao conforto” (AQUINO NETO; BRICKUS, 1999). A partir dos anos 1990, o conceito da SED consolidou-se no meio científico, através de publicações especializadas que confirmavam a influência dos sistemas de condicionamento de ar no desenvolvimento da síndrome.

Em paralelo aos estudos a respeito dessa síndrome concentram-se, em larga escala, pesquisas que objetivam induzir ao consumo eficiente de energia elétrica, devido às discussões e preocupações cada vez mais disseminadas pela mídia a respeito do seu uso consciente. Com o avanço dos estudos, percebe-se que não só os aparelhos condicionadores de ar, como outros aparelhos elétricos já fazem parte de um processo de certificação (que será tratado mais adiante) atestando a eficiência no consumo de energia elétrica.

Apesar de se reconhecer o avanço nos estudos que tratam de ambientes condicionados (SANTOS, 2017; LIAO *et al.*, 2015; DE DEAR *et al.*, 2017), pouco se sabe quanto à sua relação de percepção ambiental com o usuário, visto que uma grande maioria dos locais que o utilizam, fixam uma determinada temperatura (*setpoint*) que é utilizada durante todo o dia e na maior parte do ano, desconsiderando as variações climáticas. Na tentativa de procurar respostas para esse ciclo que envolve eficiência energética no âmbito do conforto térmico pela determinação da temperatura de *setpoint*, será estudado o tipo de sistema condicionador de ar que reúne os melhores parâmetros para os ambientes analisados nesta tese.

### **2.1.3.2 Qualidade do ar em ambiente climatizado**

Desde a suspeita de que a qualidade do ar no gabinete do Ministro das Comunicações do Brasil agravou as condições que levaram à sua morte, em 1998, a fiscalização quanto à Qualidade do Ar Interno (QAI) dos ambientes foi intensificada. Em agosto do mesmo ano, através da Portaria nº 3.523, o Ministério da Saúde (MS) obriga o cumprimento do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC). Esse Plano engloba tanto aspectos mecânicos (manutenção adequada) quanto microbiológicos (qualidade do ar) para estabelecimentos climatizados de uso público e coletivo com capacidade térmica acima de 60 mil BTUs. Em 2003, a Resolução foi revisada e atualizada pela Resolução nº 9 (ANVISA, 2003), em vigor atualmente, que “estabelece como ambiente aceitável aquele livre de contaminantes com concentrações perigosas à saúde dos ocupantes ou que representem um mínimo de 80% destes ocupantes sem queixas ou sintomatologia de desconforto”.

Em janeiro de 2018 entrou em vigor a Lei nº 13.589, que dispõe sobre a obrigatoriedade para manutenção em equipamentos de sistemas de climatização de ambientes, bem como o monitoramento da qualidade do ar interior. A Lei obriga a execução de PMOC dos sistemas de ar-condicionado a todos os edifícios de uso público e coletivo que façam uso da climatização artificial, não indicando capacidade mínima de climatização instalada. Na nova Lei fica também descrito que os padrões, valores e parâmetros, normas e procedimentos necessários para garantir a qualidade do ar interior são regulamentados pela Resolução.

Assim, foi de interesse da pesquisa, estudar o que fixa a Portaria e a nova Lei, como forma de embasar os elementos utilizados na etapa da simulação computacional, bem como na análise e discussão dos dados. Dessa forma, é necessário o reconhecimento de parâmetros para que a qualidade do ar seja atingida, como poderá ser vista nos itens a seguir.

#### **i) Renovação de ar**

A utilização correta da renovação do ar previne que se desenvolvam os ambientes, doenças relativas à qualidade do ar interno. Dentre as enfermidades encontradas em edificações que têm a renovação de ar comprometida e/ou inexistente, nos chamados edifícios doentes, estão as respiratórias, oftalmológicas, dermatológicas, cognitivas, gastrointestinais, entre outras. Godish (1997) relaciona a ocorrência de Síndrome do Edifício Doente (SED) com fatores como alta temperatura, baixa umidade

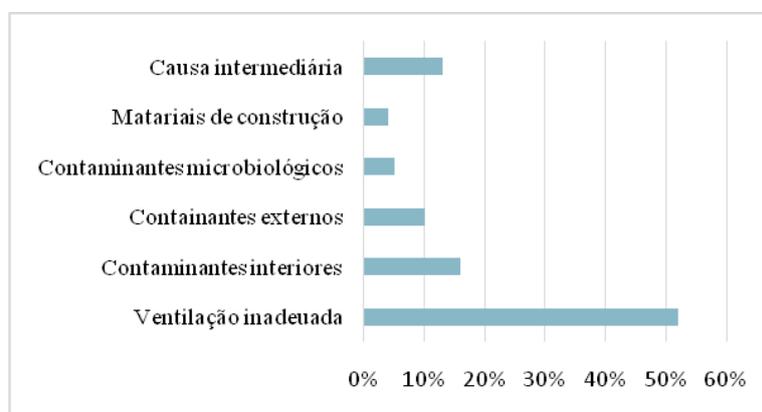
do ar, taxas de ventilação inadequadas, poeira, entre outros. Fatores esses que quando desenvolvem algumas dessas doenças podem interferir diretamente nas atividades executadas nesses ambientes, podendo contribuir, por exemplo, para a evasão escolar.

Um estudo desenvolvido em 297 escolas do Ensino Fundamental na Finlândia avaliou a relação entre a QAI e a saúde quanto ao desempenho acadêmico de estudantes da sexta série (TURUNEN *et al.*, 2014). Os relatos que mais influenciaram a QAI foram: ruído, ar abafado (má Qualidade do Ar Interior), alta temperatura interior e poeira. As reclamações quanto à QAI foram correlacionadas com as altas temperaturas médias e ventilação inadequada.

Outro estudo realizou uma pesquisa com base na influência da qualidade do ar no desempenho dos estudantes e concluíram uma relação entre as concentrações elevadas de gases poluentes no ar que entram no ambiente, com a diminuição da participação das crianças nas escolas (MENDELL; HEATH, 2005).

Neste contexto, é importante que a renovação de ar seja efetuada de modo a contribuir para o melhor desempenho dos ocupantes de determinado ambiente. A ventilação natural é responsável por acelerar as trocas de calor das pessoas com o ambiente e, na maioria das vezes, irá remover o ar interior contaminado com impurezas introduzindo ar fresco. Segundo Ambu (2008), a *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) identificou a ventilação inadequada como um dos principais fatores a alterar a Qualidade do Ar Interno (QAI), como pode ser verificado na Imagem 3.

**Imagem 3 – Fatores associados à poluição do ar interior**



Fonte: Adaptado de Ambu (2008).

Um dos padrões referenciais da Resolução n° 9 da ANVISA (2003, p.4) estabelece:

A Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27m<sup>3</sup>/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas. Nestes casos a Taxa de Renovação de Ar mínima será de 17m<sup>3</sup>/hora/pessoa, sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO<sub>2</sub> maior ou igual a estabelecida em IV-2.1, desta orientação técnica.

No entanto, um estudo realizado por Fakhoury (2017) concluiu que a taxa de renovação de ar recomendada pela ANVISA (2003), em consonância com a Portaria GM/MS n° 3.523 de 27m<sup>3</sup>/h por pessoa não foi atingido quando a sala de aula tinha sua capacidade de ocupação máxima. Mesmo o ambiente tendo sido configurado dentro dos padrões recomendados por norma, o limite aceitável não foi atingido.

Então, para que a renovação de ar aconteça de maneira eficaz ao ambiente é necessário que o equipamento mantenha inter-relação com a vazão de ar, por isso, segue uma abordagem quanto ao cálculo da vazão de ar.

## ii) Vazão de ar

Baseada na norma internacional ASHRAE 62.1 (2010), a norma brasileira NBR 16401-3:2008 define o cálculo da vazão de ar avaliando a vazão relacionada às pessoas e aquela relacionada à área ocupada. De maneira a manter a qualidade do ar interno, a referida norma brasileira estipula a vazão mínima de ar exterior a ser suprida pelo sistema para promover a renovação de ar interior e manter a concentração dos poluentes no ar em nível aceitável.

A vazão eficaz de ar exterior é calculada pela soma da vazão relacionada às pessoas (admitindo pessoas adaptadas ao recinto) e a vazão relacionada à área ocupada, calculada pela Equação 5:

$$V_{ef} = P_z * F_p + A_z * F_a \quad [\text{Eq. 05}]$$

Onde:

$V_{ef}$  – vazão eficaz de ar exterior, expressa em litros por segundo (L/s);

$F_p$  – vazão por pessoa, expressa em litros por segundo (L/s \*pessoa);

$F_a$  – vazão por área útil ocupada (L/s\* m<sup>2</sup>);

$P_z$  – número máximo de pessoas na zona de ventilação;

$A_z$  – área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m<sup>2</sup>)

Os valores de  $F_p$  e  $F_a$  são estipulados em tabela contida na NBR 16401-3: 2008. Aqui foram transcritos os valores referentes ao ambiente do estudo de caso desta tese (ver Tabela 6).

**Tabela 6 – Vazão eficaz mínima de ar interior para ventilação para estabelecimentos de ensino**

LOCAL	D Pessoas/ 100m <sup>2</sup>	Nível 1		Nível 2		Nível 3	
		$F_p$	$F_a$	$F_p$	$F_a$	$F_p$	$F_a$
		L/s*pess.	L/s*m <sup>2</sup>	L/s*pess.	L/s*m <sup>2</sup>	L/s*pess.	L/s*m <sup>2</sup>
Sala de aula	35	5	0.6	6.3	0.8	7.5	0.9

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 16401-3: 2008

Dessa forma, é possível que a vazão de ar seja calculada por ambiente, a fim de dimensionar corretamente o uso de filtros de ar para que o controle de sujidades seja efetuado de maneira eficiente.

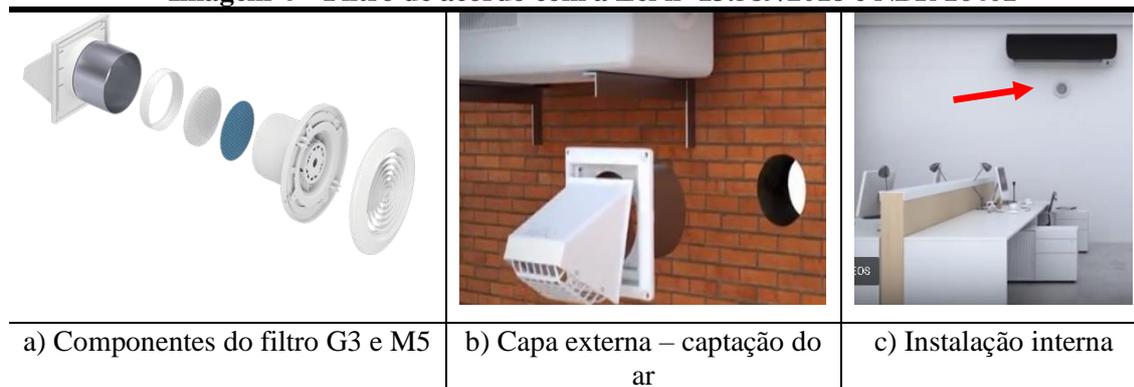
### iii) Filtragem

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA, 2020), uma pessoa respira em média 450 litros de ar por hora, totalizando cerca de 10 mil litros por dia. Em ambientes de sala de aula, por exemplo, os alunos passam cerca de 4 a 5 horas do dia nesses ambientes, que na maioria das vezes não possui ventilação adequada, fazendo com que o CO<sub>2</sub> e contaminantes do ar interior se acumulem no espaço, necessitando constantes filtrações desse ar.

A ABNT NBR 16401-3 (2008, p.10) define a filtração com os seguintes objetivos:

- O sistema de ar-condicionado deve filtrar continuamente o material particulado trazido pelo ar exterior e os gerados internamente e transportados pelo ar recirculado, a fim de:
- Reduzir a acumulação de poluentes nos equipamentos e dutos do sistema;
  - Contribuir para reduzir sua concentração de poluentes no recinto a níveis aceitáveis.

De acordo, ainda, com a Norma, estabelece em tabela níveis de filtração mínima para diversas aplicações, indicando para salas de aula a classe M5 (Imagem 4a) como classe mínima de filtração, e para sistemas de conforto com unidades de tratamento de pequeno porte (fancoletes, *splits* e *multi-split*) com filtros não estipulados em tabela contida na Norma, o uso de filtros classe G3 (Imagem 4).

**Imagem 4 – Filtro de acordo com a Lei nº 13.589/2018 e NBR 16401**

Fonte: <https://splitvent.com.br/>

Segundo a ANVISA (2003), para manter o Grau de Pureza do Ar em ambientes climatizados deve-se utilizar, no mínimo, filtros da classe G3 nos condicionadores de sistemas centrais. Recomenda a utilização de filtros classe G1 (60% a 74% de eficiência) na captação de ar exterior e filtros de classe G3 (>85% de eficiência) em condicionadores de sistemas centrais.

No final de 2019 foi apresentada pelo Prof. Paolo Tronville, especialista na área de filtros, do Politécnico di Torino, Chairman de Comissões de Elaboração de Normas Técnicas na Europa e atuante em Comissões da ASHRAE, USA, uma proposta quanto ao desempenho de processos de filtração, com destaque para a norma internacional ISO 16890 (ABRAVA, 2019). Nela, há a proposição para novos padrões de avaliação do desempenho de filtros de ar. Foi publicada no Brasil como NBR ISO 16890-1, em 2018, em paralelo com a já em vigor atualmente NBR 16101, publicada em 2012. A NBR ISO 16890-1 segue a norma europeia EN 779, que adota outras referências para classificar os elementos filtrantes.

Além disso, foi necessário considerar os indicadores quanto às condições de conforto térmico que tais sistemas podem oferecer, de acordo com as recomendações normalizadas, as quais serão discutidas a seguir.

### 2.1.3.3 Condições de conforto térmico em ambientes condicionados

Quando o ambiente e/ou a edificação não possibilitam a entrada da ventilação natural utilizando-se de equipamentos de climatização, como o ar-condicionado, a NBR 6401 (1980) define que a velocidade do ar, ao nível de 1,5m, não deve ser inferior a 0,025m/s nem superior a 0,25m/s (valores medidos com instrumentos de alta sensibilidade).

A ANVISA (2003) determina uma série de normas para o condicionador de ar de uso coletivo. Entre elas, elaborou uma Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais de Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Segundo o Órgão, o ambiente é considerado aceitável quando está livre de contaminantes em concentração perigosa à saúde dos ocupantes ou que apresentem um mínimo de 80% dos ocupantes desses ambientes sem queixas ou sintomas de desconforto. Cita alguns padrões referenciais com valores recomendáveis para os parâmetros físicos de temperatura, umidade, velocidade do ar, taxa de renovação do ar e de grau de pureza do mesmo, dentro do estabelecido pela NBR 6401 – Instalações Centrais de Ar-Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT), como mostra a Tabela 7.

**Tabela 7 – Parâmetros físicos**

	Verão	Inverno (roupa típica 0,9 clo)
<b>TBS</b>	Variar entre 23°C a 26°C. Exceto para ambientes de arte que deverão operar entre 21°C a 23°C.	Variar entre 20°C a 22°C.
<b>UR</b>	Variar entre 40% a 65%. Exceto para ambientes de arte que deverão operar entre 40% e 55%.	Variar entre 35% a 65%.
<b>V<sub>Ar</sub></b>	No nível de 1,5m do piso, na região de influência da distribuição do ar é de menos 0,25m/s.	
<b>TR<sub>Ar</sub></b>	“Mínimo, de 27m³/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas. Nestes casos a Taxa de Renovação do Ar mínima será de 17 m³/hora/pessoa.”	
<b>Grau de pureza</b>	“O Grau de Pureza do Ar nos ambientes climatizados será obtido utilizando-se, no mínimo, filtros de classe G-3 nos condicionadores de sistemas centrais, minimizando o acúmulo de sujidades nos dutos.”	

Fonte: ANVISA (2003).

Onde:

**TBS** – Temperatura de bulbo seco

**UR** - Umidade relativa

**TR<sub>Ar</sub>** -Taxa de renovação de ar

A NBR 16401-2:2008 elenca alguns parâmetros ambientais que definem condições de conforto térmico em ambientes termicamente condicionados, dependendo de fatores pessoais, como:

- Tipo de roupa utilizada, determinando a resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente, expressa em “clo” (1clo = 0,155m² K/W);

- Nível de atividade física, determinada pela taxa de metabolismo expressa em “met” (1 met = 58,2W/m<sup>2</sup>).

Os parâmetros de conforto recomendados pela Norma estipulam valores suscetíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais das pessoas. Esses parâmetros se enquadram nas zonas de conforto sugeridas pela ASHRAE 62.1 (2010) (Tabela 8).

**Tabela 8 – Parâmetros de Conforto**

	VERÃO (roupa típica 0,5 clo)		INVERNO (roupa típica 0,9 clo)	
<b>Temperatura operativa (°C)</b>	22,5 a 25,5	23,0 a 26,0	21,0 a 23,5	21,5 a 24,0
<b>Umidade (%)</b>	65	35	60	30
<b>A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:</b>	0,20 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%).		0,15 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%).	

Fonte: ABNT NBR 16401-2: 2008.

Observa-se, com a determinação desses parâmetros, que a sensação de conforto térmico, para a NBR 16401-2:2008 (ABNT, 2019), foi relacionada à definição da Temperatura Operativa. Esta, por sua vez, segundo Olgyay (1998), é a resultante da atuação no ser humano, da temperatura do ar, radiação solar, movimento do ar e umidade, segundo uma completa inter-relação expressa em uma escala calorimétrica então denominada **Temperatura Operativa (TO)**.

Segundo Araújo (1996), tal temperatura foi desenvolvida por Winslow, Herrington e Gagge, em 1937, para região de clima frio. De acordo com a ISO 7730 (2005), a TO pode ser definida como “a temperatura uniforme de um corpo negro, na qual uma pessoa poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção em um ambiente não uniforme”, podendo ser considerada como sendo a média das temperaturas de bulbo seco e radiante média para velocidades do ar menores que 0,2m/s. Pode ser representada através da [Eq. 6], a seguir, definindo a constante A, em função da velocidade do ar (Tabela 9) e representada em função da vestimenta e da atividade (Imagem 5).

$$T_O = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot t_{r m} \quad [\text{Eq. 06}]$$

Onde:

$T_a$  – Temperatura do ar

$t_{r\ m}$  – Temperatura radiante média

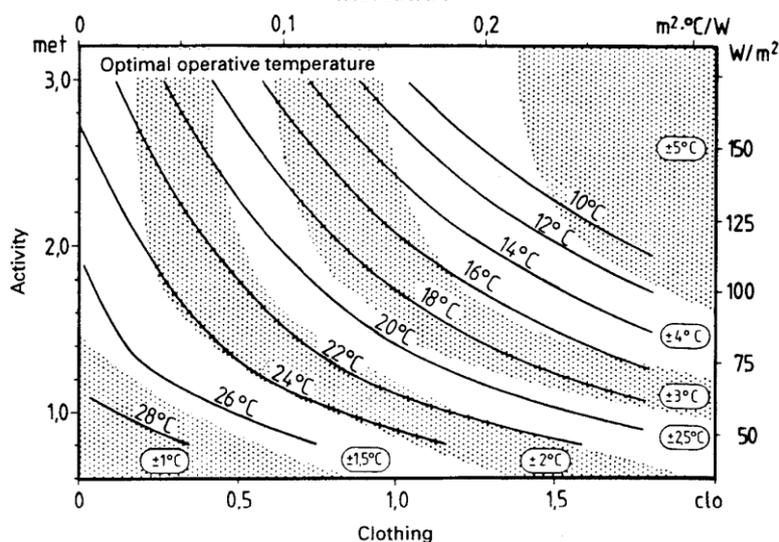
**Tabela 9 – Valores da constante A, em função de r (velocidade do ar)**

r	< 0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Fonte: ISO 7730 (2005).

Olgyay (1998) define que a equação para cálculo da TO combina temperatura, movimento do ar e a radiação solar com o metabolismo, para explicar como o corpo humano recebe os efeitos de certos elementos climáticos e como mantém sua estabilidade térmica.

**Imagem 5 – Gráfico da Temperatura Operativa (TO) (correspondente ao PMV=0) em função da vestimenta e da atividade**



Fonte: ISO 7730/2005.

### ▪Infiltrações

A infiltração corresponde ao fluxo de ar indesejado ou acidental que se direciona do ambiente externo para o ambiente interno por meio de frestas ou outras aberturas não previstas, como portas e janelas (VERSAGE, 2015; ABNT, 2008). Ocorre por diferenças de pressão entre esses elementos, devido a fatores como vento, diferenças de temperatura interna e externa e desequilíbrio entre os sistemas de exaustão ventilação.

A infiltração pode afetar tanto a temperatura do ar quanto a umidade, por isso é importante que as edificações as evitem através da vedação de superfícies externas ou mantendo a pressão interna da edificação superior externa (STOECKER; JONES, 1985).

Os ambientes controlados e que fazem uso dos condicionadores de ar, necessitam de uma determinada vazão constante de ar para que o mesmo seja renovado quanto às taxas de CO<sub>2</sub> produzido.

#### **2.1.3.4 Dimensionando os sistemas condicionadores de ar**

Ar-condicionado é o ar resultante do condicionamento, processo pelo qual são controlados, ao mesmo tempo, temperatura, umidade, movimentação e pureza do ar em ambientes fechados (COSTA, 2015).

O conforto térmico e a qualidade do ar, assegurados pelo ar-condicionado, faz com que a aquisição deste se torne cada vez mais indispensável e o seu uso bastante difundido, como já citado anteriormente. A fim de que este conforto, oriundo do ar-condicionado seja atingido, é essencial desenvolver um projeto de climatização adequado, que se baseia no cálculo da carga térmica, de modo a controlar as demais variáveis existentes, a saber:

##### **i) carga térmica**

Carga térmica é a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema, por unidade de tempo, objetivando a manutenção de determinadas condições térmicas (MENEZES, 2005). No caso do resfriamento, para que sejam proporcionadas condições de conforto térmico faz-se necessária a remoção da energia do ambiente, realizada pelos sistemas condicionadores de ar através do projeto de climatização previamente elaborado (Quadro 3).

A NBR 16401-1 (2008) define e especifica as etapas da instalação do ar-condicionado baseado nas condições climáticas locais, através do cálculo de carga térmica (expressa em *watts*) e potência, fazendo uso da Carga Térmica dos Recintos<sup>5</sup>, a saber:

---

<sup>5</sup> Depende da envoltória, considerando a orientação solar das fachadas; do tipo da envoltória externa (paredes e coberturas); do tipo de vãos externos translúcidos (janelas e claraboias); massa total da envoltória e do seu conteúdo por metro quadrado de piso do recinto.

**Quadro 3 – Elementos importantes para a elaboração do projeto de climatização**

<b>Fontes internas de calor e umidade</b>	Devem ser avaliadas separadamente as frações sensíveis e latentes.
<b>Pessoas</b>	Deve ser estipulado pelo contratante do projeto ou, na ausência dessa informação, utilizar a densidade indicada na Tabela 1 da ABNT NBR 16401-3: 2008.
<b>Iluminação</b>	O tipo e a potência das luminárias devem ser obtidos do projeto de iluminação ou estipulados pelo contratante do projeto.
<b>Equipamento de escritório</b>	A dissipação efetiva de calor dos equipamentos de escritório deve ser obtida a partir de levantamento dos equipamentos e de informações do fabricante. Devem ser ainda considerados a operação dos equipamentos de modo de espera ou intermitente e fator de simultaneidade.
<b>Infiltrações</b>	É o fluxo de ar externo para dentro da edificação através de frestas e outras aberturas não intencionais, e através do uso normal de portas localizadas nas fachadas.

Fonte: ABNT NBR 16401-1:2008.

Para se calcular a carga térmica há *softwares* que auxiliam nesse processo, como o CHVAC da *Elite Software*<sup>6</sup>. O CHVAC permite calcular um número limitado de zonas que podem ser agrupadas em até 100 sistemas de tratamento de ar.

Para o protocolo de etiquetagem<sup>7</sup>, no qual são solicitadas as comprovações de responsabilidade técnica, esse cálculo é feito por um engenheiro mecânico. Para dimensionamentos de pequeno porte, como ambientes residenciais ou salas pequenas, o arquiteto ou o design de interiores pode executar.

A NBR 16401-3 (ABNT, 2008) aponta em tabelas algumas taxas representativas para a densidade de ocupação na qual o calor sensível e umidade são emitidos pelas pessoas em diferentes atividades. Além disso, traz também indicadores e densidade e potência de iluminação, valores típicos de densidade e potência de equipamentos internos e taxa de dissipação de calor.

<sup>6</sup>O Chvac calcula com rapidez e precisão as cargas máximas de aquecimento e resfriamento para edifícios comerciais. As cargas de resfriamento podem ser calculadas com o método CLTD ou o novo método RTS (Radiant Time Series). O programa permite um número ilimitado de quartos que podem ser agrupados em até 100 sistemas de tratamento de ar. O Chvac procura automaticamente toda a carga de resfriamento e os fatores de correção necessários para calcular as cargas. Além disso, ele pode pesquisar dados meteorológicos de design externo para mais de 2.000 cidades localizadas ao redor do mundo. Também existe a possibilidade de editar os dados meteorológicos, bem como adicionar dados para outras cidades (ELITE SOFTWARE, 2020).

<sup>7</sup>Através do Programa de Etiquetagem (PBE) foi estabelecido o RTQ-C que avalia energeticamente as edificações.

## ii) British Thermal Unit (BTU)

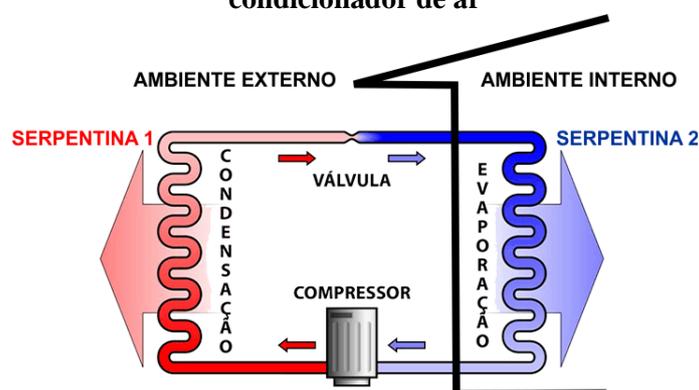
Trata-se de uma unidade de potência térmica (BTU/h) que determina a potência de refrigeração do aparelho de ar-condicionado, variando conforme o tamanho do ambiente. É definido posteriormente ao cálculo da carga térmica, visto que depende dessa variável para informar a potência necessária para resfriar determinado ambiente.

### 2.1.3.5 Modelos de condicionadores de ar

Os aparelhos de ar-condicionado são sistemas mecânicos que alteram as características internas do ambiente, na medida em que permitem o controle de variáveis ambientais que determinam a qualidade do ar e a sensação de conforto térmico sentida pelo homem.

O condicionador de ar tem como princípio proporcionar temperaturas agradáveis aos ambientes mantendo-os confortáveis termicamente. Seu sistema é composto por compressora, condensadora, evaporadora e motor ventilador. O processo de refrigeração inicia-se pelo compressor, que comprime o gás frio aquecendo-o e o tornando gás quente de alta pressão (região vermelha da Imagem 6). O gás quente passa através da serpentina (1), dissipa o calor e se condensa para o estado líquido. Esse líquido será então expandido e através da vaporização se torna gás frio, que percorre a serpentina (2) de modo a absorver o ar dentro do ambiente.

**Imagem 6 – Processo de resfriamento do condicionador de ar**



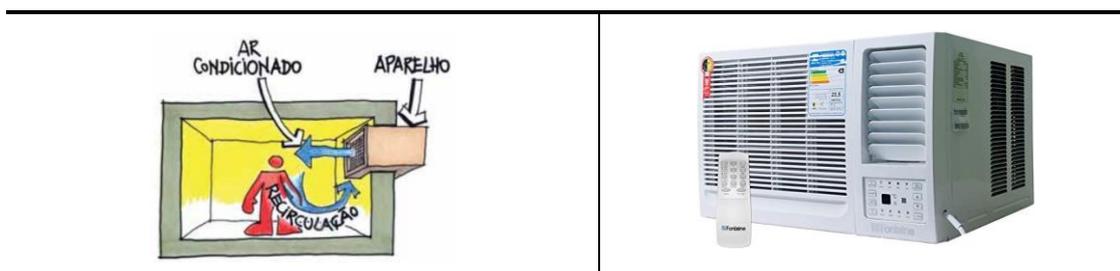
Fonte: Adaptado de <https://www.webarcondicionado.com.br>

## i) Aparelho de janela

Dentre os sistemas existentes é dos mais simples, pois possui condensadora e evaporadora no mesmo gabinete (Imagem 7). Vantagens: menor custo de aquisição, instalação e manutenção; realiza renovação de ar; e aquecimento por ciclo reverso.

Desvantagens: alto nível de ruído; altera fachada; baixa capacidade de refrigeração; e alto consumo.

**Imagem 7 – Aparelho de janela**



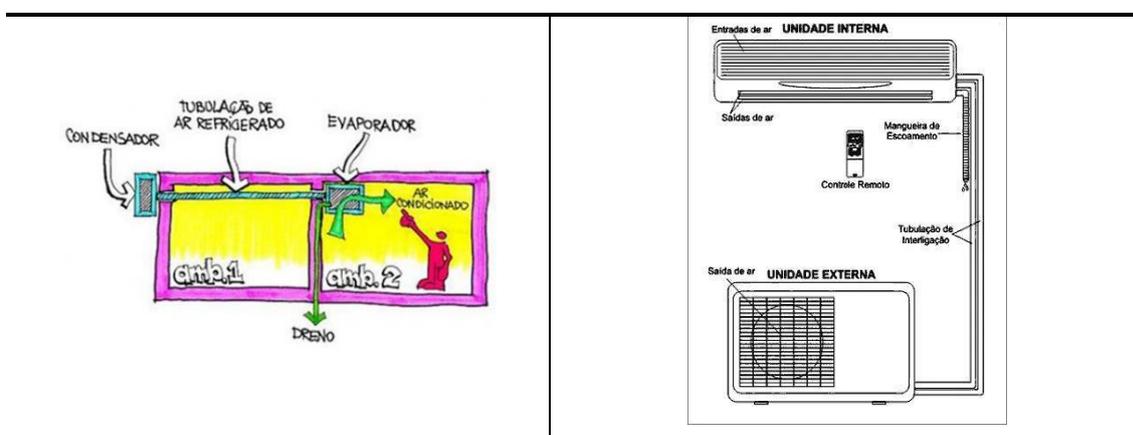
Fonte: <http://projeteec.mma.gov.br>

### ii) Mini-centrais de pequeno porte ou *Split*

Os equipamentos de ar-condicionado tipo *Split* são os modelos mais modernos, possuindo duas partes distintas: uma unidade evaporadora (interna) e uma unidade condensadora (externa). Esse modelo, em comparação com o aparelho tipo Janela, apresenta um baixo nível de ruído e, por ser um sistema eficiente e discreto é utilizado tanto em residências quanto em estabelecimentos comerciais. O esquema do tipo *Split* é apresentado na Imagem 8.

Segundo Simon Levy (*apud* CORBIOLI, 2004), consultor técnico da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), as vantagens de se utilizar o tipo mini-central ou *split* estão na possibilidade de controle individual e nos compressores de alta eficiência. Outra questão importante a observar é que a maioria dos *splits* não prevê a troca do ar nos ambientes e somente modelos especiais renovam o ar.

**Imagem 8 – *Split***



Fonte: <http://projeteec.mma.gov.br>

Fonte: <http://arcondicionadorefrival.com/como-instalar-ar-condicionado-split/>

### iii) Multisplit

O tipo *multisplit* permite que várias evaporadoras (até oito) sejam ligadas em uma condensadora. É ideal para lugares onde não há espaço externo para acomodar várias condensadoras, seja em residências ou em estabelecimentos de médio porte, no entanto, a posição da condensadora deve ser bem estudada devido ao forte ruído. Além disso, a potência total de BTUs é dividida entre as evaporadoras ligadas a ela (Imagem 9)

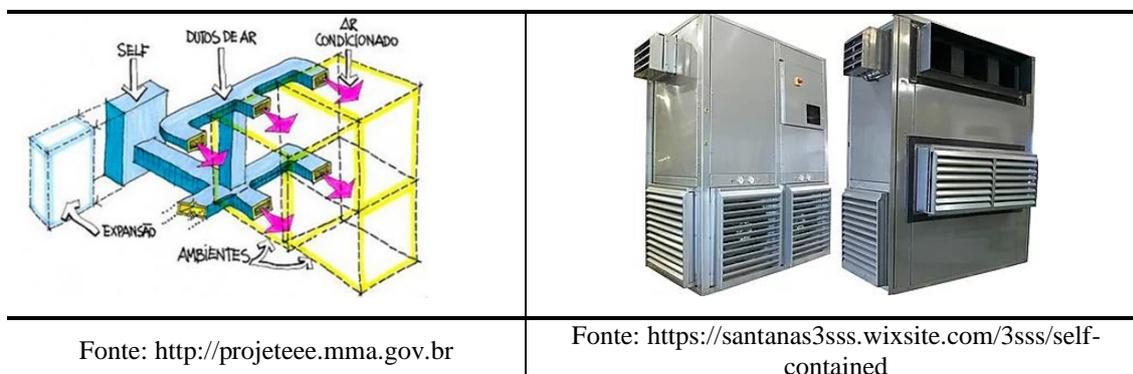
**Imagem 9 – Multisplit**



### iv) Self contained

Equipamento orientado para rede de dutos ou com grelha difusora no ambiente. Não possui ciclo reverso, com eficiência energética relativamente baixa (Imagem 10).

**Imagem 10 – Self contained**

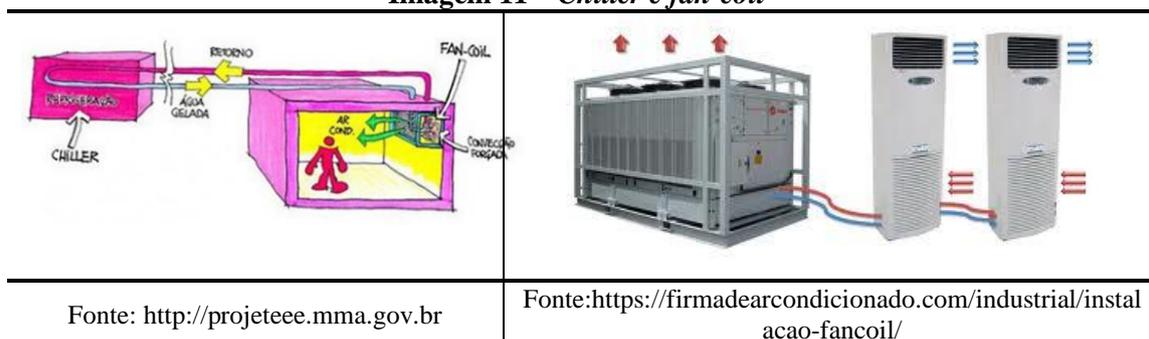


### v) *Chiller e fan-coil*

Segundo Lamberts *et al.* (2016, p. 251), esses sistemas definem-se por:

Os sistemas compostos por chillers estão associados a uma rede de distribuição de água gelada para unidades conhecidas por fan-coil. O fan-coil é análogo à unidade evaporadora, tendo a função de forçar a passagem de ar pelos tubos de água gelada, jogando ar frio para o interior do ambiente. Estes sistemas normalmente apenas refrigeram. Em regiões onde a tarifa de energia é diferenciada para cada período do dia, o chiller pode ser usado para acumular água gelada ou gelo nos horários em que a energia é mais barata (à noite) para posterior uso durante o dia e, principalmente, nos horários de pico, reduzindo assim a demanda a ser contratada. (Imagem 11)

**Imagem 11 – Chiller e fan-coil**



A partir do conhecimento dos tipos de equipamentos existentes no mercado, pode-se definir aquele que melhor atende às necessidades locais.

#### 2.1.4 Comportamento do usuário na definição da temperatura do AC para o conforto térmico

É sabido que o corpo humano reage às condições climáticas as quais é submetido em busca de conforto térmico. Mattos e Másculo (2011) complementam afirmando que o ser humano é um sistema térmico isolado do meio ambiente por uma fronteira imaginária que coincide com a pele e/ou vestimenta. Assim, um gradiente de temperatura quando exposto a sistemas com temperaturas diferentes, haverá transferência de energia (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2012).

Nesse processo de ganhos e perdas de calor, o corpo humano sofre transformações que pode, em muitos casos, afetar a produtividade e desempenho em suas atividades. Para Roelofsen (2002), um dos principais requisitos para que o indivíduo execute bem suas tarefas é que o ambiente propicie condições de conforto.

Para Fabi *et al.* (2012) são cinco os parâmetros que influenciam no comportamento do usuário em busca do conforto térmico: parâmetros físicos, contextuais, psicológicos, fisiológicos e social. E dessa forma, os classifica em ações como abrir e fechar janela, alterar a temperatura do termostato e trocar a vestimenta, alterando indiretamente o ambiente.

Há, portanto, na literatura muitos pesquisadores que seguem a linha de que temperaturas mais amenas ou mais altas causam desconforto térmico ao ponto de comprometer ou afetar a produtividade dos trabalhadores ou ocupantes de salas de aula. Pesquisas realizadas por Lan, Lian e Pan (2010) e Haneda *et al.* (2009) encontraram resultados semelhantes ao analisar os efeitos do desconforto térmico sobre o desempenho do trabalho em escritórios.

Lan, Lian e Pan (2010) investigaram a produtividade de trabalhadores para três faixas específicas de temperaturas: 17°C, 21°C e 28°C. Concluíram que o desconforto causado pela alta ou baixa temperatura do ar teve influência negativa sobre a produtividade de trabalhadores de escritório. Akimoto *et al.* (2010), também investigaram a produtividade de trabalhadores sob uso do ar-condicionado. Perceberam que o sistema condicionador de ar aumentou a sensação de frio pelos trabalhadores, no entanto, a percentagem de pessoas que declararam fadiga foi menor com o uso dele.

Em salas de aula, Huang *et al.* (2012) avaliaram a qualidade ambiental e, para a temperatura, estabeleceram uma faixa que variou de 18°C a 32°C, com aumento progressivo de dois em dois graus. O mais alto nível de satisfação foi registrado para a temperatura operativa de 25,7°C.

No entanto, um estudo realizado por Zhang *et al.* (2017), na Austrália, avaliou a carga cognitiva de trabalhadores de escritório, alternando a temperatura de 22°C para 25°C. Os resultados demonstraram que o aumento de 3°C não comprometeu significativamente o conforto térmico dos trabalhadores e nem a sua produtividade.

Assim, observa-se que muitas são as situações adversas que podem influir no comportamento e conseqüentemente na produtividade de trabalhadores. O que a maioria dos estudos sugere é que os fatores ambientais influenciam o desempenho de trabalhadores. Contudo, há que considerar outros aspectos, como: o tipo de atividade desenvolvida, resistência ao frio ou ao calor, de acordo com as características climáticas locais. Neste sentido, é válido que as pesquisas avancem isolando variáveis para que sejam reproduzidos parâmetros comparativos que indiquem a margem mais assertiva ao

conforto térmico para a maioria dos ocupantes de um dado ambiente mantendo a qualidade produtiva.

### **2.1.5 O contexto das escolas nos estudos do conforto térmico**

Com o passar dos anos acompanha-se o avanço nas pesquisas na área de conforto ambiental, e a utilização de ambientes fechados é uma das linhas de pesquisas imprescindível para a realização de algumas análises. Escritórios e escolas são bastante selecionados para essas pesquisas, devido ao tempo de exposição aos quais as pessoas ali se submetem. Em escolas, por exemplo, segundo De Guili; Da Pos e De Carli (2012), as pessoas chegam a passar em torno de 30% da sua vida nesses ambientes. Corgnati, Filippi e Viazzo (2007) complementam que, no período de aula, os alunos não podem mudar a vestimenta ou ajustá-la de acordo com as condições térmicas do ambiente.

Neste sentido, passaram a ser alvo de muitos estudos como forma de avaliar a possível influência dos índices desses ambientes na qualidade do aprendizado dos alunos, além daquelas que fazem análise de determinado parâmetro ambiental de conforto. Pois, como afirma Silva (2001), esses ambientes, se não controlados termicamente, podem sobrecarregar o organismo humano, interferindo no desempenho de atividades.

Para Wang *et al.* (2014a), as tecnologias presentes cada vez mais presentes nas salas de aula, como recursos que desenvolvem as habilidades cognitivas, podem, de um lado, favorecer a comunicação e o ensino-aprendizagem, e por outro pode elevar a carga térmica do ambiente interferindo no desempenho dos alunos. Nesse contexto, Torres (2016) propôs analisar a relação entre conforto térmico e desempenho de estudantes submetidos a variações de temperatura do ar em ambientes de ensino com inovações tecnológicas no Nordeste brasileiro. O estudo concluiu que não houve aumento térmico significativo no ambiente, devido às variáveis ambientais não apresentarem diferenças significativas. Além disso, os resultados sugeriram que, para temperaturas mais baixas (20°C), os alunos relatavam desconforto para o frio, atrapalhando o desempenho cognitivo para a realização de provas de raciocínio. Fato que pode ser explicado pela maior facilidade em aclimatar-se a condições de calor, devido localizarem-se em região de temperaturas mais altas.

Já Mendell e Heath (2005) concluíram que temperaturas acima de 24°C tendem a diminuir o desempenho escolar, enquanto temperaturas abaixo de 22°C reduzem a destreza manual e a velocidade. Dado este que deve ser considerado com cautela, pois estará intimamente ligado com o clima da região analisada e o caráter de aclimação do indivíduo. Para Tham e Willem (2010) e Lan *et al.* (2009), o desempenho cognitivo só será afetado caso o tempo de permanência do indivíduo seja superior a 60 minutos consecutivos.

Assim, as pesquisas demonstram que o estudo do conforto térmico possui muitas variáveis a serem discutidas e analisadas quanto ao grau de interferência nas sensações de conforto ambiental, na produção e na cognição quando expostas a determinadas situações climáticas. Por isso, a utilização de ambientes “controlados” em substituição às câmaras climáticas indisponíveis em muitas regiões do mundo facilitam o isolamento de variáveis e possibilitam a interação com usuários através dos registros das sensações.

## **2.2 Eficiência energética**

Para entender o conceito de eficiência energética foi necessário buscar sua contextualização na área da construção e arquitetura. Já é de conhecimento de todos que a Revolução Industrial possibilitou a importação de muitos processos construtivos e materiais inadequados a muitos climas. Com o passar dos anos, alguns acontecimentos históricos marcaram o início da preocupação com o crescimento acelerado nas cidades e o conseqüente aumento no consumo de energia, além da preocupação com causas ambientais.

Dentre esses acontecimentos destacam-se a revolução química, em 1960, o pós-guerra e a conferência de Estocolmo, em 1972, que marcaram o início das discussões a respeito do crescimento acelerado das cidades. Esse crescimento era acompanhado tanto por preocupações relacionadas ao consumo de energia quanto por questões ambientais.

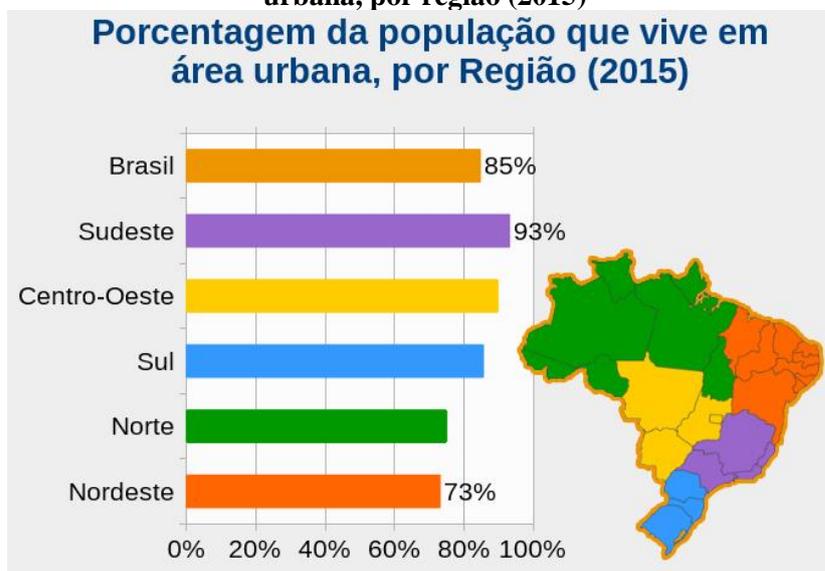
A partir dessa época, o conforto das edificações foi entendido como um processo que, se controlado, poderia consumir menos energia. Foi assim, então, que os edifícios “fechados” começaram a aparecer. “A ciência do conforto desenvolvida no século XX se fundamentou em ideias da indústria, fortalecendo e incentivando sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação mecânicos” (SOUSA; LEDER, 2019, p. 2). Foi nessa época que os engenheiros passaram a ser os responsáveis pelo conforto térmico e lumínico.

A partir da década de 1980, muito se discutiu a respeito de medidas para proteger o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, como: *Brundtlandreport*, 1987 – documento elaborado pela ONU sobre o meio ambiente e desenvolvimento; criação da ISO 14001 – Gestão ambiental; ECO 92, que resultou na Agenda 21 – grande marco mundial; e o protocolo de Kyoto – no qual os países se comprometeram a diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> para minimizar os gases no efeito estufa e consequentemente o aquecimento global.

No entanto, de 2005 até 2010, segundo dados divulgados pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Informação (MCTI), houve um aumento na geração de energia e hoje a preocupação volta-se para o aumento na demanda pelo uso dessa energia. Em muitos casos, as estratégias de conforto térmico não resultam ou não garantem esse conforto, daí a necessidade do resfriamento artificial.

Necessidade essa advinda de projetos inadequados ao clima, falta de estudos prévios que garantam esse conforto, crescimento desordenado das cidades, além do aumento populacional contribuindo para a emissão de CO<sub>2</sub>. Segundo a ONU (2019), cerca de 55% das pessoas vivem em centros urbano, o que significa mais da metade da população global. No Brasil, segundo a Pesquisa Nacional de Amostragem de Domicílios (IBGE, 2016), a maior parte da população brasileira (cerca de 84%) vive em áreas urbanas, como mostra a Imagem 12.

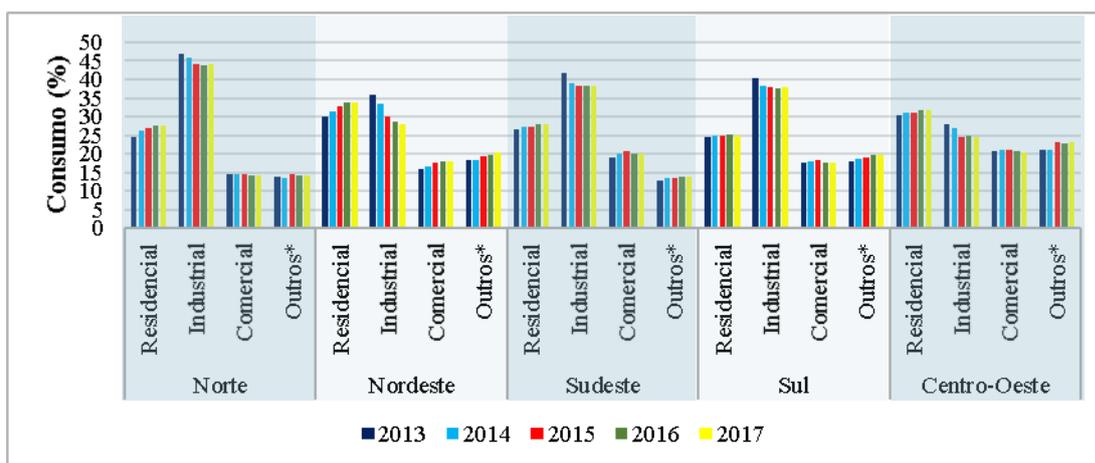
**Imagem 12 – Porcentagem da população que vive em área urbana, por região (2015)**



Fonte: IBGE, Pesquisa por Amostra de Domicílios (PNAD) (2016).

Com isso, explica-se o alto consumo de energia pelo setor residencial que, em alguns anos e regiões do Brasil, ultrapassou o consumo industrial. A média de consumo por região, como mostra o gráfico da Imagem 13, é em torno de 26,52% para residências e 44,92% para indústria, na região Norte; 13,42% para residências e 31,18% para indústria, na região Nordeste; 27,46% para residências e 39,08% para indústria, na região Sudeste; 24,82% para residências e 38,38% para indústria, na região Sul; e 31,18% para residências e 25,84% para indústria, na região Centro-Oeste.

**Imagem 13 – Consumo de energia por setores e regiões do Brasil**



Fonte: Adaptado de EPE (2018).

Na tentativa de minimizar as consequências geradas pelas construções, as pesquisas na área da arquitetura bioclimática têm avançado cada vez mais. O uso de materiais, equipamentos e tecnologias construtivas que façam o melhor uso da eletricidade, sem esquecer o conforto do usuário, estão cada vez mais sendo estudados e divulgados.

No entanto, segundo a Eletrobrás/Procel Edifica (2014), para que os resultados sejam efetivamente conseguidos, as estratégias devem ser empregadas desde a concepção do projeto arquitetônico, passando pela construção até atingir o uso final da edificação. Apesar de ser um assunto estudado há anos, ainda não há uma lei que obrigue as edificações a utilizar tais sistemas, mesmo sabendo que trariam economia no consumo de energia. As iniciativas ainda são voluntárias no âmbito das edificações, exceto para prédios públicos, nos quais o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (Procel Edifica) atua com exigências e obrigatoriedades desde 2014.

O Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) estabeleceu um calendário de obrigatoriedade de PBE Edifica com os seguintes prazos: até 2020 para prédios

públicos; até 2025 para edificações comerciais; e até 2030 para edificações residenciais. No entanto, com a publicação da Instrução Normativa (IN) n° 2, de 4 de junho de 2014, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), a etiquetagem tornou-se compulsória para edificações públicas federais a partir de 5 de agosto de 2014.

Apesar de não haver a obrigatoriedade em caráter de lei para qualquer edificação, há um extenso conjunto de normas técnicas de caráter obrigatório que regulam desde as etapas de produção das edificações bem como *retrofits*<sup>8</sup>. Esse sistema de normas é periodicamente atualizado, sendo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a instância nacional oficial, de elaboração, controle e atualização de eixo normativo.

Segundo o CBIC/SINDUSCON-MG (2015), o quantitativo de normas relativas às áreas de construção chega a quase mil, sendo critérios de viabilidade, contratação e gestão representando 1,3% delas, aspectos desempenho, projeto e especificação de materiais e sistemas construtivos 58%, execução e serviços 6%, controle tecnológico 33,2%, manutenção 0,2 e qualificação de pessoas 1,3%.

É necessário, portanto, que as pesquisas continuem avançando para que possam cada vez mais colaborar para o avanço das técnicas e os resultados tornem-se cada vez mais confiáveis, previsíveis e massivamente publicáveis. Assim, será fonte constante para a atualização de normas e a consequente economia de energia e melhorias ambientais.

### 2.2.1 Arquitetura e eficiência energética

Segundo Corbella e Yannas (2003, p.16):

Após a II Guerra Mundial e com a abundância de combustível barato, a tecnologia dos engenheiros foi suplantando uma série de atribuições dos arquitetos, que pouco a pouco foram esquecidos. Assim, desconsiderou-se o conforto térmico do usuário, deixando essa tarefa ao engenheiro térmico. A iluminação natural foi ignorada e substituída pela artificial calculada pelo engenheiro eletricitista.

Diante de um cenário onde os recursos naturais eram abundantes e a energia consumida era barata e supria as necessidades de conforto dos usuários, muitas edificações foram construídas alheias ao clima. O profissional arquiteto, de formação

---

<sup>8</sup>Intervenção nas edificações alterando sistemas de iluminação, condicionamento de ar e/ou envoltória, por meio da reforma ou atualização do edifício ou dos sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos (Manual de Edificações Públicas, 2014).

generalista, suprimiu o conhecimento e a gestão das características técnicas, funcionais, estéticas e ambientais, para construir com base em complexos sistemas automatizados, visando à economia de energia, com inúmeras variáveis e parâmetros. O edifício concebido eficiente energeticamente era fruto da integração dos aspectos técnicos (instalação elétrica, ar-condicionado, automação e iluminação), controlados por engenheiros e concebidos na própria arquitetura (FERNANDES, 2009).

Com o aumento populacional e o conseqüente aumento na urbanização, e as conseqüências ambientais que isso já estaria causando com os recursos ambientais, houve, a partir da década de 1980, a necessidade de se repensar valores construtivos. O conforto do usuário precisaria ser mantido e para isso haveria que se equalizar o emprego de tecnologias bioclimáticas resgatando o caráter generalista por formação do profissional arquiteto.

Mascaró (1985, p. 15) afirmou:

Hoje, depois de um longo período de uso intensivo (e irreflexivo) da energia operante, e com a situação da crise da energia, criada a nível mundial (crise essa não só de energia, mas também cultural, já que o modelo vigente, consumista-esgotado, tendo como única referência o sistema produção-consumo, tem-se mostrado falho e, portanto, questionável) construir com o clima não é mais uma posição ecológica, idealista ou contestatória.

Década marcada pela arquitetura de Lelé, caracterizada pela preocupação como conforto ambiental e a humanização dos ambientes projetados, desenvolvendo sistemas de ventilação e iluminação naturais que contribuem para a redução do condicionamento artificial consumindo menos energia.

Porém, em muitos casos, o que encanta, ainda, é a “arquitetura importada”, não avaliando sua devida aplicabilidade, muito comum para a arquitetura moderna, na qual Milliet (1981, p. 261) escreveu:

Ela não se explica por motivos de ordem sociológica, pois as mesmas razões não a implantaram em outros países. Ela se explica por elementos de nossa psicologia. Seduz-nos a novidade, somos traídos pelo que nos afigura acentuadamente progressista, dinâmico, promissor.

Foi exatamente a sedução pelo novo somado ao processo de globalização que os escritórios e profissionais da área transitaram por novas oportunidades de mercado. E é diante desse cenário que a arquitetura tem sido desenhada ao longo dos anos. Com a inclusão, ainda, de muitas estratégias construtivas inadequadas ao clima, retorna ao

período onde o profissional não fazia uso de seu total conhecimento para a concepção do projeto e obra.

Com base nesses acontecimentos na área da construção civil, muito tem se estudado para que a inclusão de estratégias bioclimáticas seja efetiva e que a regulamentação das normas seja cada vez mais acentuada, fazendo-se necessário contextualizá-las.

### 2.2.2 Normas de desempenho e regulamentos da eficiência energética

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2010), há fatores que são utilizados por diversos países para criar políticas relacionadas à eficiência energética. Estes fatores são: segurança energética, economia e competitividade, mudanças climáticas e problemas de saúde, que foram representados na Imagem 14 por Bustamante (2018), com base nos objetivos associados a cada um desses processos.

**Imagem 14 –Fatores que motivam a criação de políticas de fomento à eficiência energética**



Fonte: Adaptado de Bustamante (2018).

Há duas normas de desempenho térmico para edificações no Brasil que hoje atuam: NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) e um regulamento, recente no Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais e Comerciais, RTQ-R e RTQ-C (BRASIL, 2012). Nesta tese, será dada ênfase àquelas que foram utilizadas como base de consulta para a definição dos dados necessários à análise paramétrica através da simulação computacional.

#### 2.2.2.1 Norma brasileira de desempenho térmico

Descrita como uma norma de desempenho térmico específica para edificações residenciais, a NBR 15575 (ABNT, 2013) não será tratada neste trabalho. Assim, os dados necessários para a configuração da base dados para a etapa da simulação foram

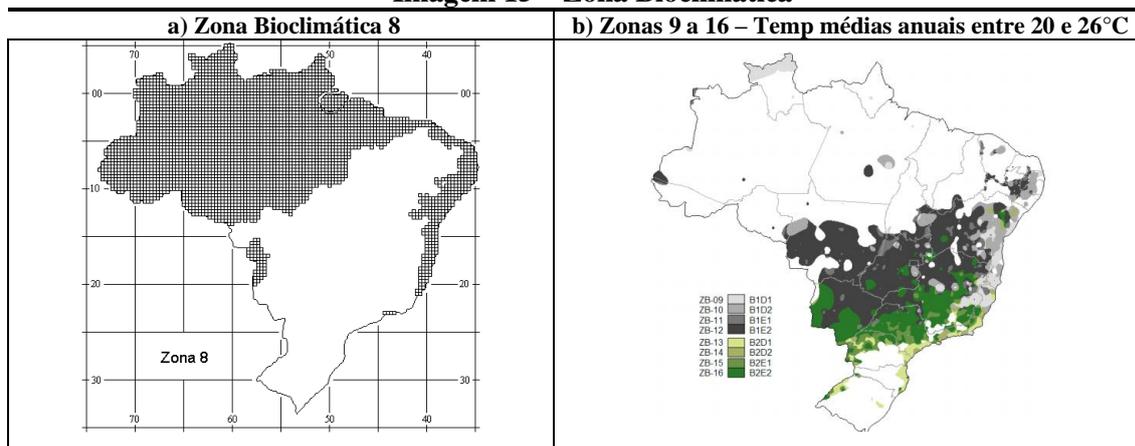
extraídos e trabalhados através da NBR 15220 (ABNT, 2005), mais genérica e intitulada: *Desempenho térmico de edificações*.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) é dividida em cinco partes que indicam as medições de propriedades térmicas dos componentes construtivos e os métodos de cálculo para as edificações. A parte 3, NBR 15220-3 (ABNT, 2005) trata das diretrizes construtivas para edificações residenciais unifamiliares de interesse social com recomendações para cada zona bioclimática brasileira, baseada na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (KOENIGSNERGER *et al.*, 1977).

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), estabelecido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) dividiu o território em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, onde são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. Para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas, objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática (NBR 15220-3). No contexto desse zoneamento, Maceió está entre as cidades que compõem a Zona 8 (Imagem 15).

No entanto, devido à necessidade de aperfeiçoamento do Zoneamento Bioclimático do Brasil (ABNT-NBR 15220-3), visto inúmeras críticas ao então zoneamento apresentadas em artigos publicados em eventos científicos nacionais pela imprecisão na caracterização climática de cidades brasileiras, Roriz (2014) propôs uma revisão da Norma, com objetivo de estabelecer um Mapeamento dos Climas no Brasil. Dessa forma, segundo a classificação mais recente dos municípios brasileiros, o autor coloca Maceió na Zona Bioclimática 9, dentre as 20 zonas definidas por ele (Imagem 15).

**Imagem 15 – Zona Bioclimática**



Fonte: ABNT (NBR 15.220-3: 2005, 2005).

Fonte: Roriz (2014).

Como parâmetros construtivos, a Norma classifica as vedações da edificação entre paredes e coberturas leve, leve refletora ou pesada (Quadro 4). Para o clima quente e úmido da cidade em estudo, situada na Zona 8, a NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda vedações leves e refletoras, pois nessas regiões, as construções devem evitar ganhos de calor proveniente da radiação solar enquanto dissipam calor produzido internamente (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

**Quadro 4 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa**

Vedações externas		Transmitância térmica – U W/m <sup>2</sup> . K	Atraso térmico - ϕ Horas	Fator solar – FSo
Paredes	Leve	U ≤ 3,00	ϕ ≤ 4,3	FSo ≤ 5,0
	Leve refletora	U ≤ 3,60	ϕ ≤ 4,3	FSo ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,20	ϕ ≤ 6,5	FSo ≤ 3,5
Coberturas	Leve isolada	U ≤ 2,00	ϕ ≤ 3,3	FSo ≤ 6,5
	Leve refletora	U ≤ 2,30. FT	ϕ ≤ 3,3	FSo ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,00	ϕ ≤ 6,5	FSo ≤ 6,5

Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

NOTAS:

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver 02: 135.07-001/2

2 Aberturas efetivas para ventilação são dadas em percentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar)

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo “ático” refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro

Já a NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda diretrizes para a construção de habitações de interesse social para cada uma das Zonas Bioclimáticas definidas para o Brasil. De acordo com ela, a edificação situada na Zona 8, zona de localização da cidade de Maceió/AL, deveria apresentar: ventilação cruzada e proteção solar, além de aberturas maiores que 40% da área do piso.

Um estudo realizado por Passos (2017, p.142) identificou parâmetros que possam ser utilizados nas normas com a finalidade de aproveitar melhor a ventilação natural em edifícios residenciais multifamiliares. Nela concluiu-se que, “de maneira geral, as recomendações das normativas são falhas, não considerando a integração entre os diversos aspectos que influenciam o desempenho da ventilação natural nos edifícios”. A autora, após estudos de simulação computacional, recomenda para Zona Bioclimática 8, para ambientes de permanência prolongada, um percentual de 25% da área do piso para o dimensionamento das aberturas.

A definição das recomendações é baseada na utilização de propriedades térmicas dos componentes construtivos, estratégias de condicionamento térmico passivo, tamanho das aberturas e dispositivos de sombreamento. Coberturas e paredes são definidas termicamente através da capacidade, resistência e atrasos térmicos, além do fator solar. Apesar disso, não havendo especificidades que orientem ambientes escolares, a referida Norma foi utilizada como base de consulta para os parâmetros citados e referenciados na seção Metodologia deste estudo.

#### **2.2.2.2 Regulamento de eficiência energética**

Segundo Pérez, Lombard *et al.* (2009), os primeiros regulamentos da eficiência energética data da década de 1970 e objetivavam diminuir a transferência de calor através dos componentes construtivos definindo parâmetros da envoltória. Já nos anos 1990 retomaram sua importância com o objetivo de reduzir o consumo de energia, além de contribuir para a redução da emissão de gases do efeito estufa.

No Brasil, o regulamento foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Foi publicado em 2010, através do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais e/ou Comerciais, de serviços e públicos (BRASIL, 2012) e representa um avanço para o racionamento de energia, assim como já acontece em países como Estados Unidos, Canadá, Austrália, Alemanha, Portugal, Espanha, entre outros que já possuem normas de eficiência energética.

A Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia, regulamentada em 2001, determina a necessidade para “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes”, objetivando uso racional de energia elétrica (BRASIL, 2001).

Em 2004, resultante deste Decreto, foi criado o projeto “Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes”, através de convênio entre Eletrobrás (PROCEL Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). O projeto tinha como objetivos desenvolver dois regulamentos: RTQ-C (Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos) e o RTQ-R (Regulamento Técnico para Eficiência Energética de Edificações Residenciais).

Através do Regulamento é possível avaliar os edifícios no âmbito da envoltória, sistemas de iluminação e sistemas de ar-condicionado. Dentre os regulamentos citados o RTQ-C foi o primeiro deles a ser elaborado, devido, segundo Lamberts (2006), pelos 42% da energia consumida no Brasil, 11% ser utilizada no setor comercial e 8% no setor público.

O RTQ-C (BRASIL, 2012) avalia a eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, dividida em três sistemas individuais: envoltória, sistemas de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Assim, para obter a classificação geral do nível de eficiência da edificação, a mesma deverá atender aos três requisitos citados.

Essa classificação se dá a partir de combinações de métodos que variam entre o método prescritivo e a simulação de acordo com as seguintes combinações (Quadro 5):

**Quadro 5 – Combinações de métodos de avaliação para obtenção da classificação geral**

Envoltória	Sist. de iluminação	Sist. Cond. de ar	Ventilação natural
Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

Fonte: Brasil (2012).

A avaliação pelo método prescritivo utiliza o procedimento analítico com aplicação de equações e o método da simulação que compara o desempenho termoenergético de uma edificação real com aquela de referência.

A difusão dos regulamentos visa consumir energia de forma eficiente mantendo o conforto ambiental, a produtividade dos ocupantes e a qualidade construtiva.

### 2.2.3 Comportamento do usuário e eficiência energética

O comportamento dos usuários pode refletir em melhores resultados para eficiência energética também. Pesquisas indicam que um aliado a essa mudança, segundo Sorgato (2015) é a automação. O autor destaca que a automação tem grande potencial para auxiliar os usuários a reduzir o consumo de energia, apresentando informações acerca da melhor forma de operar a edificação demonstrando usos finais de energia elétrica.

Aquino *et al* (2009) comprovaram uma economia significativa para o sistema industrial convencional através da implementação de um controlador lógico programável. Higor Del Vecchio de Carvalho, Coordenador de Engenharia de

Aplicação e P&D – Industrial IoT da ADVANTECH BRASIL (PEREIRA, 2019), destaca que o mercado de automação deve impulsionar a eficiência energética devido, por exemplo, as perdas imensuráveis de energia no cenário industrial brasileiro por falta de monitoramento e informações detalhadas.

Braga (2007) afirma a importância dos monitoramentos pela automação em Instituições de ensino público pela carência de manutenção preventiva em equipamentos e sistemas elétricos. Rocha *et al.* (2019), utilizou um sistema de gerenciamento de ambientes para controle automatizado de aparelhos de ar-condicionado. Através do sistema, sensores e câmeras de vídeo coletam dados referentes à temperatura, umidade e a presença de pessoas nos espaços monitorados. O sistema foi implantado em salas de aula e laboratórios da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e concluiu que o sistema atinge o objetivo proposto contribuindo para o não desperdício de energia por evitar que os equipamentos permaneçam ligados em situações em que não estejam sendo utilizados.

Outro estudo, de Pereira e Marinoski (2010) avaliaram o consumo de energia elétrica da Casa Eficiente por meio de quatro perfis de usuários. A pesquisa concluiu que mudanças no comportamento dos usuários somadas à eficiência dos eletrodomésticos e equipamentos pode reduzir o consumo de energia em até 83%.

Conclui-se, portanto, que o usuário exerce papel fundamental nessa interação que objetiva diminuir o consumo de energia elétrica, sendo através de mudanças de hábitos ou mesmo agregando sistemas controladores que evitam o desperdício.

### **2.3 Simulação termoenergética**

O desempenho térmico de uma edificação pode ser simulado para verificar o seu comportamento diante das normas de desempenho ou para análise de uso. Através de seus componentes, pode-se avaliar estratégias projetuais quanto a sistemas construtivos, de iluminação e/ou sistemas de condicionamento ativo ou passivo relacionando o comportamento térmico e/ou consumo de energia.

Segundo Silva (2016), na área do ambiente construído, a simulação computacional de edificações é uma ferramenta importante e necessária para a realização de estudos de avaliação, entendimento e aperfeiçoamento do desempenho térmico e energético de edificações em projeto ou existentes. Ainda, segundo o autor, percebe-se que o desempenho das edificações é dependente de múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes (consumo de energia, custos, impactos ambientais, conforto

térmico, acústico e visual etc.), e o ato de se estimar cada um desses critérios por meio de formulações matemáticas implica na consideração de incertezas em diferentes fontes.

É importante salientar que todo processo de simulação computacional apresenta incertezas. Dentre elas, podem ser citadas: falta de informações para a modelagem completa em projetos inacabados ou em reforma, por exemplo; pela simplificação de fenômenos físicos, além de muitas vezes, a construção não ser fiel ao projeto. Pereira e Ghisi (2015) indicam a importância da calibração para tornar os resultados confiáveis, diminuindo incertezas, segundo Westphal (2007), utilizando, por exemplo, o histórico de consumo de energia para verificar o desempenho da edificação.

### **2.3.1 Arquivo climático de referência TRY para Maceió/AL**

O *Test Reference Year*, arquivo de referência TRY, é uma base de dados climáticos utilizados pelo *Energy Plus*, baseado num banco de dados climáticos para um ano de referência de determinado clima local. Os dados climáticos incluem: mês, dia e hora; temperatura de bulbo seco e bulbo úmido; velocidade dos ventos; temperatura do solo; pressão barométrica; tipo de céu e radiação solar.

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) disponibiliza este arquivo climático TRY de referência para a cidade de Maceió (LABEEE, 2017), que foi utilizado como dado de entrada nas simulações a serem realizadas para a pesquisa.

### **2.3.2 O programa *Energy Plus***

O *Energy Plus* é um programa computacional desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos atendendo aos requisitos exigidos pela ASHRAE 140 (2007) e disponibilizado de forma gratuita. Gera dados, como: temperaturas internas dos ambientes, temperaturas superficiais, trocas de calor, consumo energético de edifícios, entre outros (PEREIRA, 2019). Além disso, são inseridos dados, como: variações horárias para ocupação, iluminação e equipamentos, realizando a simulação para as 8.760 horas do ano considerando as trocas térmicas entre as zonas, a partir do arquivo climático.

O programa permite fazer simulações em diferentes momentos da construção, desde a fase de projeto ao pós-ocupação. Brígitte *et al.* (2016), em seu estudo de seis casos inseridos em clima quentes, concluíram pela possibilidade de incluir a simulação computacional desde a primeira fase projetual.

Para avaliar o desempenho térmico, a edificação selecionada para o estudo de caso foi modelada na interface gráfica *Sketch Up Pro 2018* por meio do *plugin Euclid 0.9.2* e posteriormente exportada em formato .idf para o *software Energy Plus*, versão 8.8.

### 2.3.3 Parâmetros para a simulação

O comportamento da zona térmica calculada dependerá dos parâmetros físicos, geométricos e da carga térmica dos ambientes. Assim, os valores utilizados para cada uma das condicionantes citadas foram àqueles baseados tanto na literatura quanto naqueles encontrados na configuração do modelo selecionado para estudo de caso.

#### 2.3.3.1 Parâmetro térmico

São as informações referentes às propriedades térmicas dos materiais opacos e/ou transparentes, encontrados em paredes, coberturas e vidros, estabelecidos pelas normas.

##### i) Transmitância e capacidade térmica:

Corresponde à variável definida pelos elementos que compõem a envoltória da edificação e a diferença de temperatura entre as duas faces. Através dela se conhece o isolamento térmico da superfície. Assim, quanto mais baixo for o valor da transmitância, maior o isolamento daquela superfície. Nos métodos simplificados, a resistência térmica de qualquer camada homogênea, como cita Muzzi (2014), é calculada pela equação 07, contida na NBR 15220 (ABNT, 2003):

$$U = 1 / R_T \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad \text{Eq. 07}$$

Onde:

$U$  = Transmitância ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

$R_T$  = Resistência térmica Total do elemento composto por camadas ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ), que é definido por (equação 08):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad \text{Eq. 08}$$

Onde:

$R_{si}$  = Resistência Térmica Superficial Interior (segundo norma por zona climática);

$R_{se}$  = Resistência Térmica Superficial Exterior (segundo norma por zona climática);

R1, R2, R3, Rn = Resistência Térmica de cada camada em métodos simplificados, se obtém segundo (Equação 09):

$$R = e / \lambda \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad \text{Eq. 09}$$

Onde:

e = Espessura da camada (m)

$\lambda$  = Condutividade térmica do material (W/K.m)

Dessa forma, conclui-se que a transmissão térmica é inversamente proporcional à resistência térmica, ou seja, quanto maior for a resistência dos materiais da envoltória, menor será o calor que se perde através dela.

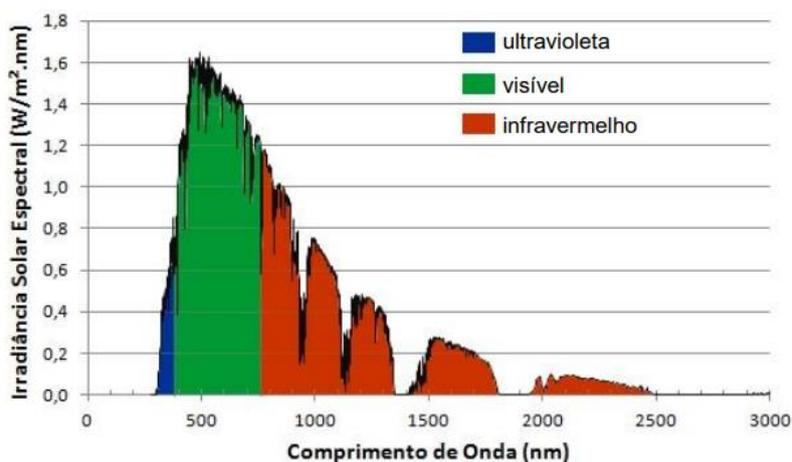
## ii) Absortância

Segundo a ABNT (2005), a absortância corresponde ao quociente entre a taxa de radiação solar absorvida por uma superfície e a de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. Seus valores variam de zero a um, ou de zero a 100%, baseiam-se nas cores dos materiais, e podem ser consultados em tabelas como as da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b).

No entanto, em sua pesquisa, Pereira (2014) faz uma ressalva importante quanto a adoção dos valores fornecidos em tabelas. Segundo a autora, os valores não são exatos, pois apenas uma parcela da radiação solar é emitida como luz visível, responsável pela definição das cores. O restante é emitido como radiação infravermelha e ultravioleta e não está relacionado com a cor do material (Imagem 16).

Entretanto, segundo Pereira *et al.* (2015, p. 5):

Na maioria das análises de interesse para a engenharia, utilizam-se propriedades que representam médias direcionais e integradas ao longo de determinados comprimentos de onda. Tendo em vista o Sol como principal fonte de radiação incidente nas edificações, costuma-se caracterizar as superfícies por sua refletância ou absortância solar. Essas propriedades são calculadas e integradas ao longo dos comprimentos de onda abrangidos pelo espectro solar, ou seja, para radiações de onda curta, consideradas entre 300 e 2500nm, aproximadamente.

**Imagem 16 – Irradiação solar espectral**

Fonte: Pereira (2014)

### 2.3.3.2 Parâmetros geométricos

Na proposição da modelagem para a análise do estudo de caso foi feita a parametrização da geometria com base nas superfícies construídas que poderiam interferir nas zonas térmicas do modelo, seja ela referente à orientação solar em relação à sua exposição ao sol, à proteção solar que oferece e à exposição da cobertura.

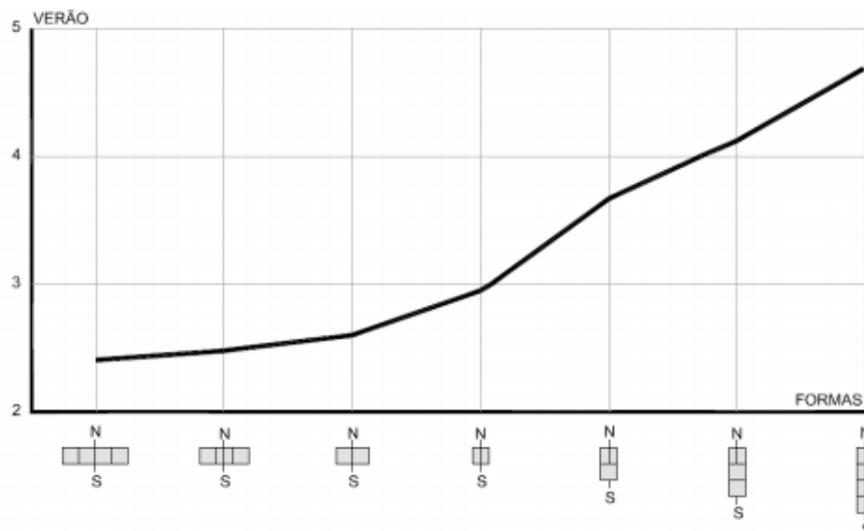
#### i) Orientação solar

A orientação solar das edificações é, em muitas vezes, condicionada a morfologia do traçado urbano quanto ao formato das ruas, por exemplo. Romero (2000) indica para climas tropicais de altitude, que sejam arborizadas e que não sejam nem muito largas e nem muito estreitas, de forma a acelerar o resfriamento das edificações aumentando as perdas do calor ganho durante o dia.

No entanto, os códigos de edificações não definem aspectos da implantação relacionados à ventilação, vegetação, insolação, forma e orientação das ruas e lotes, abordando apenas condicionantes quanto às dimensões dentro do lote (afastamentos e altura), o que implica inicialmente o primeiro entrave quanto à exploração de elementos que melhoram o conforto ambiental desde a implantação no tecido urbano.

Assim, a edificação é dependente da disposição e formato do lote que, como já tratado, não possui legislação que especifique o melhor aproveitamento dos recursos naturais de conforto. Além disso, a própria implantação no lote, em sua grande maioria, não esboça estudos prévios das fachadas ou da forma do edifício quanto à exposição ao sol e o conseqüente aumento da carga térmica interna. Essa relação, segundo Mascaró (1985), tem forte interferência, como mostra o gráfico da Imagem 17.

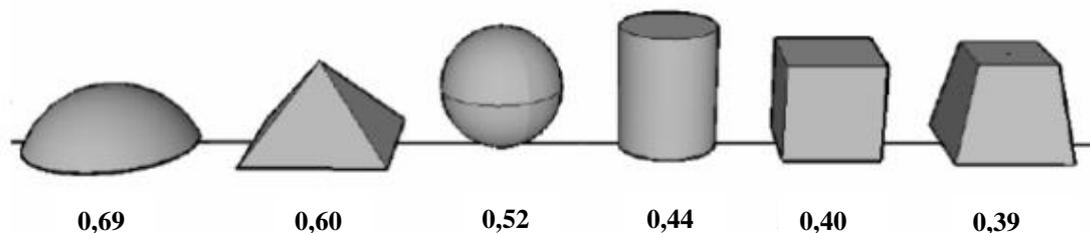
**Imagem 17 – Comportamento da carga térmica em função da forma da edificação**



Fonte: Mascaró (1985, p. 23 *apud* FERNANDES, 2009, p. 103).

Outra relação interessante a se observar é aquela quanto ao volume interior. Quanto mais compactas as formas, mais conservam o calor (quente ou frio) no seu interior. Quanto mais alto for o índice de compactidade<sup>9</sup> (Imagem 18) (razão entre a área da superfície exterior e volume da forma) se aproximar de zero, menos conservação de energia propiciará a forma (FERNANDES, 2009)

**Imagem 18 – Índices de compactidade em relação à forma dos edifícios**



Fonte: Oliveira (2006, p. 6 *apud* FERNANDES, 2009, p. 104).

O Código de Obras da cidade de Maceió/AL (MACEIÓ, 2007) indica apenas a altura máxima da edificação, de acordo com o zoneamento do Mapa da Área Urbana. Quanto à iluminação e ventilação naturais, o *Código* é restrito aos vãos dos compartimentos de permanência fixa e/ou transitória. No entanto, indicam o atendimento aos níveis de iluminação, ventilação e acústica, de competência e responsabilidade dos que subscrevem projeto. No RTQ-C, a avaliação da eficiência energética é indicada a partir da envoltória através do Fator de Forma (razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação) e Fator de Altura (razão entre a área da

<sup>9</sup> Relação existente entre a superfície que envolve o edifício e seu volume, ou seja, o grau de concentração das massas que o compõem (SERRA, 1989).

cobertura e a área total construída, com exceção dos subsolos). Para Olgyay (1998), Mascaró (1985) e Signor (1999), o número de pavimentos influi no consumo energético e este complementa:

Em edifícios climatizados artificialmente e em clima como o brasileiro, a cobertura chega a ser o fator determinante do nível de consumo de energia elétrica, sendo que certamente o efeito é maior quanto mais baixo for o edifício (SIGNOR, 1999, p. 25).

Assim, o estudo proposto levou em consideração tais abordagens, verificando a porcentagem de diminuição ou aumento do consumo energético diante da variação da orientação geográfica e de uma proposição para a cobertura, para o estudo de caso.

## **ii) Sombreamento da abertura**

O *brise-soleil* passou a fazer parte da paisagem construída brasileira desde as décadas de 30 e 40 com suas primeiras utilizações projetadas por Le Corbusier. Com o passar dos anos foi deixando de ser utilizado nos projetos, em grande parte por resistência de arquitetos, provavelmente pela forma tradicional de representação arquitetônica. Devido aos movimentos de racionamento de energia e a popularização do conhecimento e emprego de técnicas construtivas mais adequadas ao clima local, percebe-se que esse elemento está voltando a ser elemento principal de controle da incidência solar empregado nas fachadas.

Os protetores solares têm como função bloquear a radiação solar reduzindo os ganhos de calor. A eficiência de sua proteção está ligada ao estudo prévio da trajetória solar sobre as aberturas. Assim, pode-se prever/simular ou determinar o período de exposição das aberturas ou sua proteção total, de acordo com uso e necessidade dependente da atividade desempenhada interiormente.

Torna-se fundamental realizar o estudo da incidência solar na edificação para proteger (ou não) os raios de sol nas aberturas. Faz-se necessário nesse processo localizar o sol na abóbada celeste que, segundo Koenigsberger et al. (1980), pode ser realizado por três métodos: físico (heliodon, solarcópio ou relógio solar); gráfico (diagrama solar e transferidor de ângulos de sombra) e os computacionais.

Faz-se necessário, portanto, que os ângulos de altura solar e azimute sejam conhecidos servindo de coordenadas para a localização do sol na abóbada celeste. A partir daí é possível fazer o estudo da insolação nas fachadas do edifício e suas respectivas proteções de acordo com o horário de exposição das aberturas que se deseja.

A escolha pela posição que ocupam nas fachadas podem ser: verticais, horizontais e mistos. Segundo Bittencourt (2015), os protetores devem ser utilizados para casos específicos, considerando o de geometria horizontal mais adequado a horários de maior altura solar; o de geometria vertical para incidência oblíqua em relação à fachada (Norte, Sul, Sudeste, Nordeste e Sudoeste) e maior eficácia no início da manhã e final da tarde; e a geometria mista, que combina as duas geometrias citadas, indicadas para fachadas Norte e Sul em baixas latitudes.

Olgay (1957) realizou o estudo da insolação com proteção das aberturas através das máscaras de sombras para cada uma das três posições de protetores solares nas aberturas. Utilizou esquemas em corte, planta e a respectiva máscara de sombra, com proteções de 100% e 50% das aberturas. O método de sombreamento adotado na metodologia deste trabalho para a simulação da eficiência energética, assemelha-se ao método apresentado por Olgay.

Quanto a eficiência energética, Lamberts *et al.* (2016) afirmam que o ganho térmico dos fechamentos transparentes pode ser oito vezes o do fechamento opaco. Um estudo por Cunha (2011) demonstrou a diminuição drástica nos custos de climatização artificial sem que os custos de iluminação artificial aumentem com a mesma intensidade. No entanto, a eficiência energética de um sistema de proteção solar será dependente da relação entre radiação solar e os fechamentos opacos e transparentes da edificação.

Um estudo por Cruz e Silva (2011) verificou os efeitos do comportamento da distribuição da luz natural no interior de edifícios de escritórios com o uso de protetores solares em diferentes latitudes brasileiras e orientações. A pesquisa concluiu que a orientação Oeste apresentou a pior resposta quanto à autonomia da luz natural no interior da edificação para as três cidades investigadas: Brasília, Florianópolis e Maceió. Além disso, indicou que o uso de protetor solar horizontal em Maceió (menor latitude dentre as avaliadas) não acarretou em perdas significativas para a entrada de luz natural. Por fim, conclui que as cidades localizadas em latitudes menores têm uma melhor resposta quanto ao uso de protetores em relação ao aproveitamento da luz natural. Portanto, redistribuirá a luz natural sem perder qualidade ambiental.

Além de manter qualidade ambiental quanto à distribuição da luz natural e diminuir o consumo energético, um estudo por Martins (2007) indicou que a inserção de dispositivos de proteção solar, apesar de elevar o tempo de retorno do investimento na instalação, é relativamente pequeno, se comparado a toda a vida útil da edificação.

Assim, as pesquisas comprovam que a adoção desses sistemas não compromete significativamente o desempenho da iluminação natural (principalmente para baixas latitudes) e mostraram-se aliados no consumo energético final da edificação. Configuram um elemento arquitetônico com grande poder exploratório estético, pela diversidade de formas que poderão agregar esteticamente ao projeto.

### 2.3.3.3 Carga térmica interna

A carga térmica interna é definida pelos ganhos dentro da zona térmica. Neste item foram considerados os estudos acerca do sistema de resfriamento como variável a ser analisada e como parâmetro fixo os equipamentos, a iluminação, as pessoas, a ocupação e infiltração, que apesar de não configurar carga térmica interna, relaciona-se a trocas de calor do ambiente internamente.

#### i) sistemas de resfriamento

Quanto ao sistema de resfriamento adotado, este foi selecionado com base naquele utilizado pelas salas de aula do estudo de caso. A variação quanto ao consumo foi efetuada pela determinação do coeficiente de performance (COP). Um estudo desenvolvido por Rech (2018) fez uma análise do desempenho dos equipamentos condicionadores de ar tipo *Split* nas diferentes zonas bioclimáticas do Brasil, investigando se o COP nominal dos condicionadores de ar era representativo da real eficiência dos equipamentos de acordo com as especificidades climáticas de cada região do Brasil.

Para isso, analisou dois modelos de sistemas de ar-condicionado: *Split* fixo e o *Split* inverter, e assim definiu os valores do COP para cada zona bioclimática, como mostra o Tabela 10.

**Tabela 10 – Valores de COP anual para cada zona bioclimática**

Localidade	Zonas bioclimáticas	COP anual <i>Split</i> fixo	COP anual <i>Split</i> inverter
Brasília	4 e 5	4,35	6,58
Curitiba	1	4,93	6,94
Florianópolis	2e 3	4,94	6,95
São Luís	8 e 6	4,54	5,91

Fonte: Rech (2018).

O coeficiente de performance de um equipamento térmico se define através da relação entre a capacidade de refrigeração e a potência utilizada (BEYER, 2009). Eq. 10

$$\text{COP} = Q_{\text{ref}} / W_{\text{cons}} \quad \text{Eq.10}$$

Onde:

$Q_{\text{ref}}$  – capacidade de refrigeração ou aquecimento

$W_{\text{cons}}$  – potência utilizada

Neste estudo, por haver mais de um arquivo bioclimático para as zonas 2-3 e 6-8, considerou-se aquele com maior necessidade de arrefecimento. Por isso, Maceió terá o mesmo valor de COP indicado que São Luís.

### **ii) Iluminação e equipamentos**

A carga referente ao sistema de iluminação representa o sistema de luminárias com lâmpadas fluorescentes montadas sob a laje. Quanto à carga dos equipamentos elétricos, esses foram representados pelos computadores e projetores.

### **iii) Infiltração**

A infiltração é o fluxo de ar indesejado ou acidental que vem do ambiente externo para o interno, e é causado pelas frestas de portas e janelas ou abertura e fechamento de portas de acesso. A especificação de valores de taxa de infiltração foi relativa a “trocas de ar por hora”, na qual se considera a renovação do volume de ar na zona térmica pela infiltração de ar do ambiente externo.

### **iv) Pessoas**

A densidade de pessoas comporta-se na simulação efeito da carga térmica da presença de pessoas no ambiente, ganho térmico este que é dado por calor latente e sensível. Segundo Versage (2015), o *Energy Plus* calcula automaticamente a divisão destes ganhos.

### **v) Ocupação**

Os dados de entrada levam em consideração o horário de ocupação para controle da iluminação e equipamentos. No estudo de caso, o horário de ocupação foi definido com base no funcionamento das salas de aula. A edificação estudada possui grande fluxo de ocupação no período da manhã e o noturno, com uma diminuição significativa no período da tarde. Aos sábados há ocupação até o meio-dia e a partir desse período até o domingo, sem ocupação.

Modelos de edificações são comumente utilizados para avaliar o desempenho térmico, entre outros fins. Segundo Versage (2015), “são utilizados para a predição de cargas térmicas para dimensionamento de sistemas, para políticas de eficiência energética de edificações em certificações, códigos e regulamentos e para ferramentas no desenvolvimento de projetos arquitetônicos e de engenharia”, de maneira a propor melhorias para a edificação e/ou evitar desperdícios em qualquer das etapas de projeto.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

---

Esta seção apresenta o método proposto para avaliar conforto térmico e o desempenho energético para uma edificação condicionada artificialmente localizada no clima quente e úmido. Para isso, optou-se pelo monitoramento de variáveis ambientais e aplicação de questionários e posterior simulação computacional. Para realizar a simulação foi selecionada uma edificação para estudo de caso, a qual situa-se no Centro Universitário Tiradentes (UNIT), localizado na cidade de Maceió/AL. O clima da cidade, quente e úmido, foi utilizado como referência para a seleção do perfil climático (arquivo TRY de referência para Maceió) utilizado na simulação computacional. O software utilizado foi o Energy Plus, como será melhor descrito posteriormente para cumprir o objetivo da pesquisa quanto ao impacto da definição da temperatura interna (setpoint) em ambientes escolares condicionados no consumo energético para o clima quente e úmido, definido no item 1– Introdução, o método foi dividido em 2 etapas:

#### (3.1) Avaliação do conforto térmico

Esta avaliação se deu pela medição de variáveis ambientais locais mais a aplicação de questionários quanto às sensações e aceitabilidade térmica dos ocupantes dos ambientes. O objetivo foi estabelecer o intervalo de temperaturas a serem simuladas e dentro desse intervalo, determinar qual(is) faixa(s) seria tida como a mais “confortável” pela maioria dos ocupantes. Essa faixa ou temperatura específica foi também discutida sob o ponto de vista do consumo energético enfatizando sua viabilidade quanto a mantê-la como *setpoint* nos sistemas condicionadores de ar das salas em estudo, de modo a apresentar melhorias quanto às duas demandas: conforto térmico e eficiência energética.

#### (3.2) Simulação termoenergética

As simulações demonstraram dentre cinco variáveis escolhidas, aquela que mais interferiu no consumo energético. Para isso, foram utilizados os seguintes critérios:

- (3.2.1) simulação do consumo energético utilizando um estudo de caso mantendo as características atuais quanto a orientação, absorvância, COP e aberturas expostas a radiação solar;
- (3.2.2) simulação do consumo energético a partir da variação da orientação geográfica;

(3.2.4) simulação do consumo energético a partir de diferentes COPs para o aparelho de ar-condicionado.

(3.2.5) simulação do consumo energético a partir da inserção de brises nas aberturas, propondo 100%, 50% e 30% de proteção para as aberturas.

Para cada uma das etapas descritas foi mantida uma matriz de simulação sob duas situações: uma temperatura fixa para todo o ano; e a outra com duas temperaturas (“verão” e “inverno”) como será melhor descrito posteriormente.

### 3.1 Avaliação do conforto térmico

O conforto térmico dos ocupantes foi avaliado segundo o modelo estático. Para isso, foram aplicados questionários quanto à sensação térmica dos ocupantes. As avaliações posteriores foram feitas através do cruzamento dos dados referentes às respostas aos questionários e às medições das variáveis ambientais em salas de aula do estudo de caso utilizado (Imagem 19).

**Imagem 19 – Bloco D – UNIT/AL**



Fonte: Arquivo pessoal.

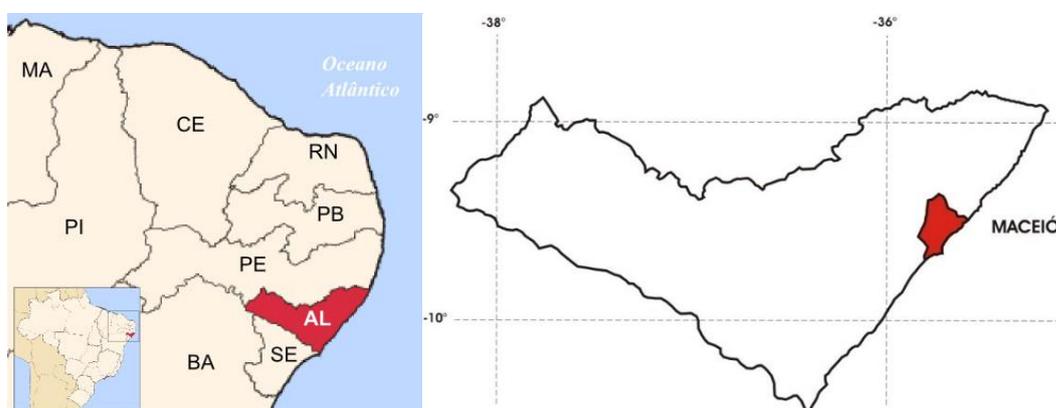
Os ambientes foram selecionados por se tratarem de espaços de uso prolongado e possuir facilidade de isolamento para algumas variáveis que podem interferir nas sensações e preferências térmicas, tais como: peso, idade e gênero. Além disso, havia a possibilidade de monitorar salas localizadas nas quatro orientações, visto ser esse um dos focos do estudo no aspecto referente à eficiência energética.

As salas tornaram-se objeto do estudo de caso após a percepção e sensação térmica sentida e acompanhada por relatos dos ocupantes/alunos e pela proponente da pesquisa, que foi professora da instituição durante alguns anos. As constantes reclamações de desconforto para o frio despertaram o interesse pela área de estudo.

### 3.1.1 Caracterização climática

O estudo de caso foi desenvolvido em um edifício existente situado em Maceió/AL. A capital de Alagoas está localizada na região Nordeste do país, com uma população estimada pelo censo de 2017 de 1.029.129 habitantes e um território de, aproximadamente, 503,07km<sup>2</sup>, com 9°31' de latitude ao Sul do Equador e 35°47' de longitude a Oeste do meridiano de Greenwich (Imagem 20). Possui apenas duas estações durante o ano, o verão e o inverno. O inverno caracteriza-se como estação chuvosa e de temperaturas mais amenas. Durante todo o ano não há variações bruscas de temperaturas, apresentando na maior parte do ano temperaturas elevadas. A baixa latitude, a radiação solar intensa e, especialmente, a proximidade de grandes massas líquidas – oceano e lagoas – provocam pela umidade do ar, caracterizam o clima de Maceió como quente e úmido.

**Imagem 20 – Mapa do estado de Alagoas com a localização do município de Maceió**



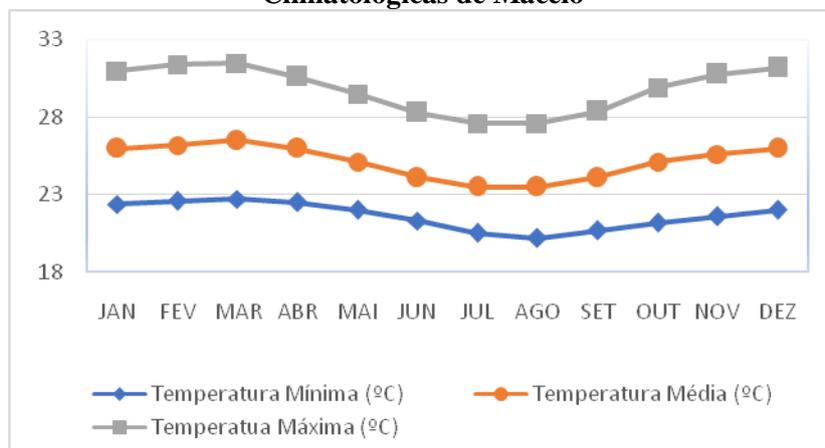
Fonte: <https://alagoasreal.blogspot.com>

A condição típica do céu da cidade é o parcialmente nublado. Ocorrências de céu claro são raras (4,5% em média), enquanto de céu nublado são acima de 15% (BITTENCOURT, 1993). A baixa latitude propicia grande intensidade de radiação solar. No verão, a média do período de insolação é de 7,9 horas/dia, caindo no inverno para 5,8 horas/dia.

A análise das Normais Climatológicas do Brasil de 1981-2010 (INMET, 2019), apresentados na Tabela 11, mostra que a cidade de Maceió constitui um bom exemplo de constância de valores de temperatura do ar. Estas caracterizam as regiões litorâneas do Nordeste brasileiro com temperatura média anual em torno de 25°C, com variação de 26°C em janeiro e fevereiro (quadra seca) a 23,5°C em julho e agosto (quadra chuvosa). Apresenta média anual das máximas de 29,1°C, com variação entre 31,4°C, também em

fevereiro, e 27,6°C em julho. A média anual das mínimas é de 21,6°C, e varia entre 20,2° em agosto e 22,7°C em março (Imagem 21).

**Imagem 21 – Valores das temperaturas média máxima, média mínima e média, de acordo com os dados das Normais Climatológicas de Maceió**



Fonte: INMET (2019).

A proximidade de grandes massas líquidas (complexo lagunar Mundaú-Manguaba e os inúmeros riachos que cortam a cidade) influi na umidade relativa média da região que atinge 77,8%, tendo sido registrado julho como o mês mais úmido (82,8%) e novembro o mais seco (74,1%), com uma média pluviométrica anual de 1.867,4mm, de acordo dados do INMET (2019) apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11 – Principais parâmetros meteorológicos – Maceió/AL**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp. Média (°C)	26,0	<b>26,2</b>	26,5	26,0	25,1	24,1	23,5	<b>23,5</b>	24,1	25,1	25,6	26,0	25,1
Temp. Máx(°C)	31,0	<b>31,4</b>	31,5	30,6	29,5	28,3	<b>27,6</b>	<b>27,6</b>	28,4	29,9	30,8	31,2	29,8
Temp. Mín (°C)	22,4	22,6	<b>22,7</b>	22,5	22,0	21,3	20,5	<b>20,2</b>	20,7	21,2	21,6	22,0	21,6
Temp. Máx. Absoluta (°C)	34,8 - 2003	<b>34,9</b> - <b>2010</b>	35,0 – 1988	34,2 - 2009	36,4 - 1998	31,8 - 1987	31,1 - 2009	<b>30,7</b> - <b>1987</b>	31,9 - 2009	34,6 - 2009	38,4 - 2005	35,4 - 2002	38,4 - 11/2005
Temp. Mínima Absoluta (°C)	17,9 - 2009	17,8 - 2002/ 2004	16,4 – 2005	<b>18,0</b> - <b>2002</b>	17,0 - 2002	16,0 - 2005	-	-	<b>15,0</b> - <b>2005</b>	15,8 - 1996	17,0 - 1996	17,4 - 2002	<b>18,0</b> - <b>2000</b> <b>2001</b> <b>2002</b>
Precip. Total (mm)	83,0	72,0	117,4	207,5	<b>296,9</b>	353,8	265,2	201,5	120,2	61,6	46,9	<b>40,5</b>	1867,4
UR (%)	75,9	74,2	74,9	77,8	81,1	82,6	<b>82,8</b>	81,9	78,7	76,1	<b>74,1</b>	73,9	77,8
Insolação total (h)	241,4	218,6	209,6	202,5	198,5	<b>162,8</b>	169,2	180,6	190,2	220,4	247,9	<b>257,5</b>	2499,2
Nebulosidade (0-10)	<b>0,6</b>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,8</b>	0,7	0,7	0,7	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	0,7

■ Valores máximos absolutos ■ Valores mínimos absolutos

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2019), período 1981-2010

Estando sob a influência dos ventos alísios de Sudeste (velocidade fraca a moderada, na maior parte do ano) e os ventos de retorno do Nordeste (janeiro, fevereiro e março), Maceió possui o valor médio mensal da velocidade do vento de 2,8m/s, podendo chegar a valores absolutos mais intensos de 10m/s na direção Nordeste. (BARBIRATO, 1999).

### 3.1.2 Estudo de caso

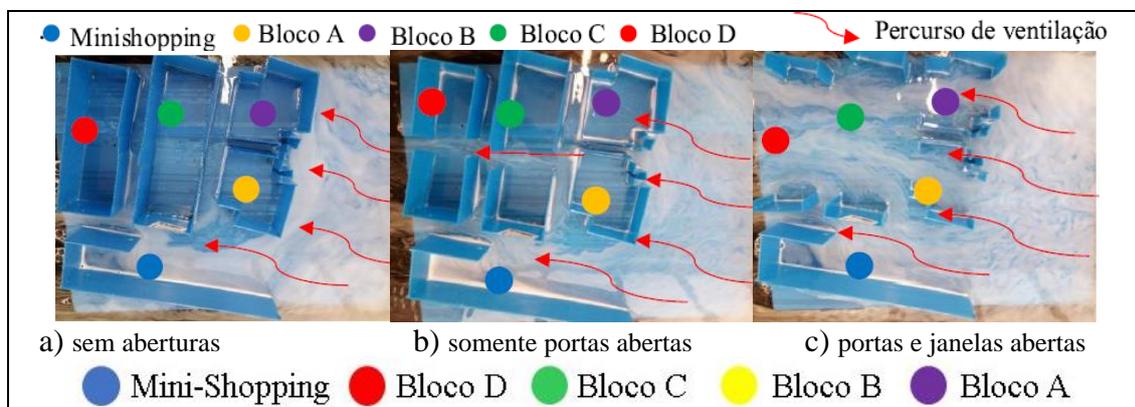
Em edificações de clima quente e úmido, os ventos regionais podem ser aproveitados melhorando o microclima interno, resultando em uso mais racional de energia elétrica, dispensando o uso de condicionadores de ar, por exemplo. No entanto, nem sempre isso é possível, seja pela distribuição urbanística existente, seja pelas novas construções que podem obstruir a movimentação dos ventos. Em seus estudos, Barbirato *et. al.* (2015) discutem a qualidade climática nos espaços livres e a morfologia urbana relacionados a parâmetros urbanísticos e proposições de mapas climáticos através de simulações computacionais comparativas para cenários futuros. Nele, os autores indicam efeitos indesejados em relação à qualidade climática local causados pelos parâmetros máximos estabelecidos para algumas regiões de expansão. Dentre eles, relacionam: “elevada perda de velocidade dos ventos predominantes e formação de grandes áreas de estagnação do ar devido à formação de estrutura verticalizada pouco porosa (baixa rugosidade).” (BARBIRATO *et al.*, 2015, p. 62).

Além disso, o emprego das tipologias arquitetônicas diferentes daquelas sugeridas pelos estudos climáticos, por exemplo, continuam exaltando essa problemática, inclusive pela negação da arquitetura vernácula, a qual vem sendo gradativamente substituída por caixas de vidro fechadas e condicionadas artificialmente (BUSCH, 1992 *apud* CÂNDIDO, 2006). O uso indiscriminado de estratégias projetuais empregadas indistintamente ao clima, somado à inexistência de legislação específica sobre eficiência energética, faz a reprodução arquitetônica crescer cada vez mais.

O estudo de caso desta pesquisa se encaixa neste cenário das “caixas fechadas e condicionadas artificialmente”. No entanto, não se sabe se ela é fruto da reprodução em série ou se é refém do uso de condicionamento artificial pelas condições de entorno produzidas pela malha urbana. Um estudo por Filho *et al.* (2016), caracterizou o espaço como dependente do uso de condicionamento artificial pela sua configuração arquitetônica e implantação no terreno indicando grande potencial de ventilação natural para um novo arranjo arquitetônico. Investigou os efeitos da ventilação para a

implantação no terreno, com o equipamento mesa d'água, afim de avaliá-lo qualitativamente. Percebeu-se que a distribuição da ventilação sofre influência pela implantação no terreno e pela barreira formada pelos demais blocos existentes (Imagem 22).

**Imagem 22 – Estudo da ventilação natural nos edifícios do Campus da UNIT/AL**



Fonte: Filho *et al.* (2016).

O estudo concluiu que as disposições dos blocos bem como a tipologia das aberturas impedem a entrada de um maior fluxo da ventilação natural. Além disso, a proponente dessa tese, percebeu pelo período vivenciado nestes ambientes, que a necessidade de resfriamento do ar feita através de aparelhos de ar-condicionado além de, provavelmente, elevar o consumo de energia elétrica, produz um grande desconforto para o frio, devido à definição de temperaturas dos termostatos aparentemente muito baixas. É bastante comum alunos e professores fazerem sobreposição de vestimenta para sentirem-se mais confortáveis, mesmo no verão (Imagem 23).

**Imagem 23 – Alunos com sobreposição de roupas**



Fonte: Arquivo pessoal.

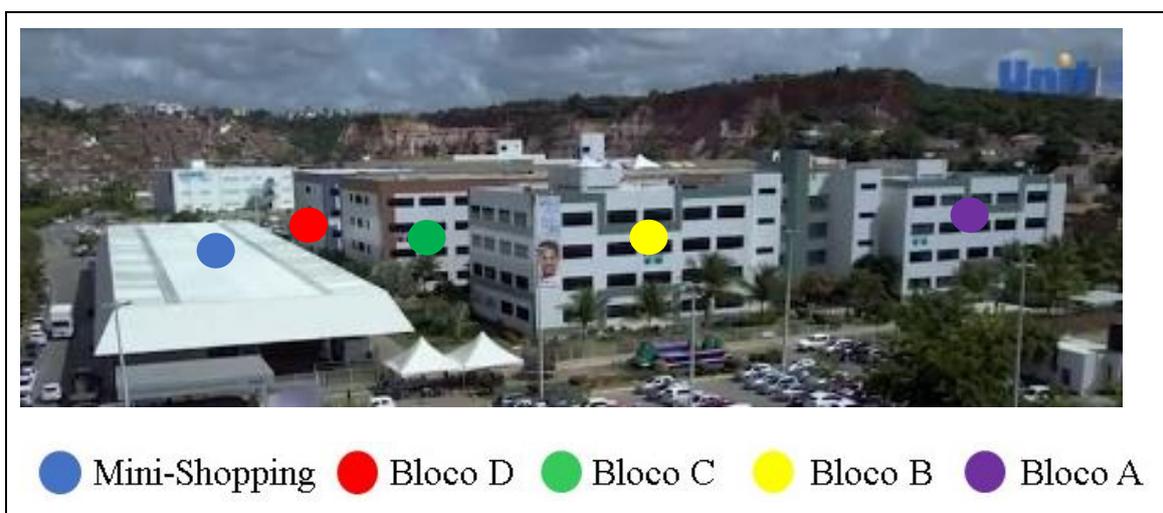
Outro estudo sobre a Síndrome do Edifício Doente (SED)<sup>10</sup> constatou que muitos dos usuários desses ambientes apontaram relativa baixa na produção para os

<sup>10</sup> O termo Síndrome do Edifício Doente (SED) é utilizado para descrever situações nas quais os ocupantes de um determinado edifício apresentam repetidamente reclamações em relação à saúde

ocupantes de tais ambientes fechados e climatizados, devido a sintomas persistentes como alergia, dores de cabeça, irritação nos olhos e mucosas, dores de garganta, tontura, náuseas e fadiga (ARAÚJO; ALBUQUERQUE; BITTENCOURT, 2018).

Na tentativa de contribuir por melhores resultados térmicos e energéticos, a presente pesquisa adotou as salas de aula de um dos edifícios do Centro Universitário Tiradentes (UNIT), localizado na Av. Comendador Gustavo Paiva, 5017 – Cruz das Almas, Maceió/AL. Possui uma configuração espacial dividida em blocos (A, B, C e D) de sala de aula e administração, além de contar com um espaço de convivência (Mini-Shopping) com lanchonetes e serviços básicos para os estudantes, como: banco, biblioteca central, cópias e impressão (Imagens 24, 25 e 26).

**Imagem 24 – Vista do Centro Universitário Tiradentes (UNIT)**

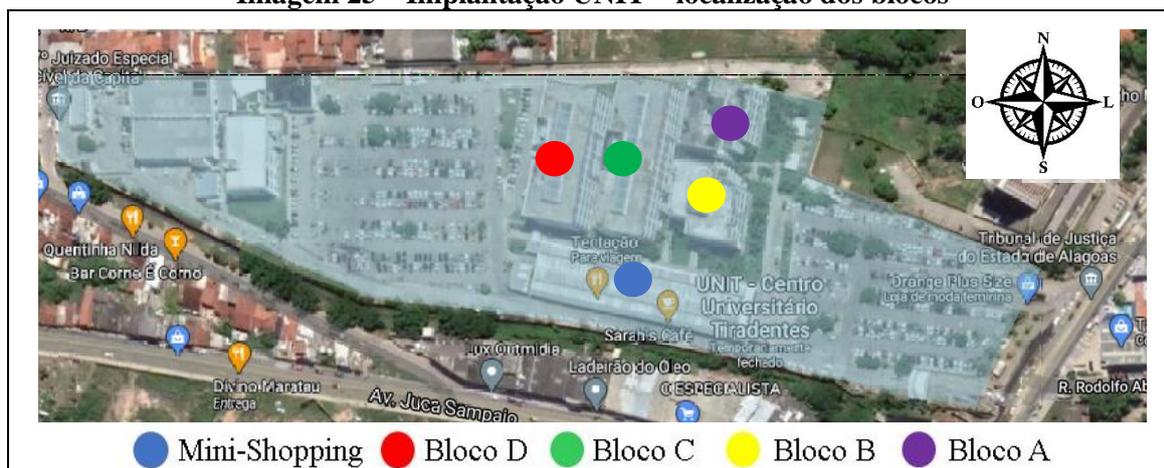


Fonte: <https://al.unit.br/#>

---

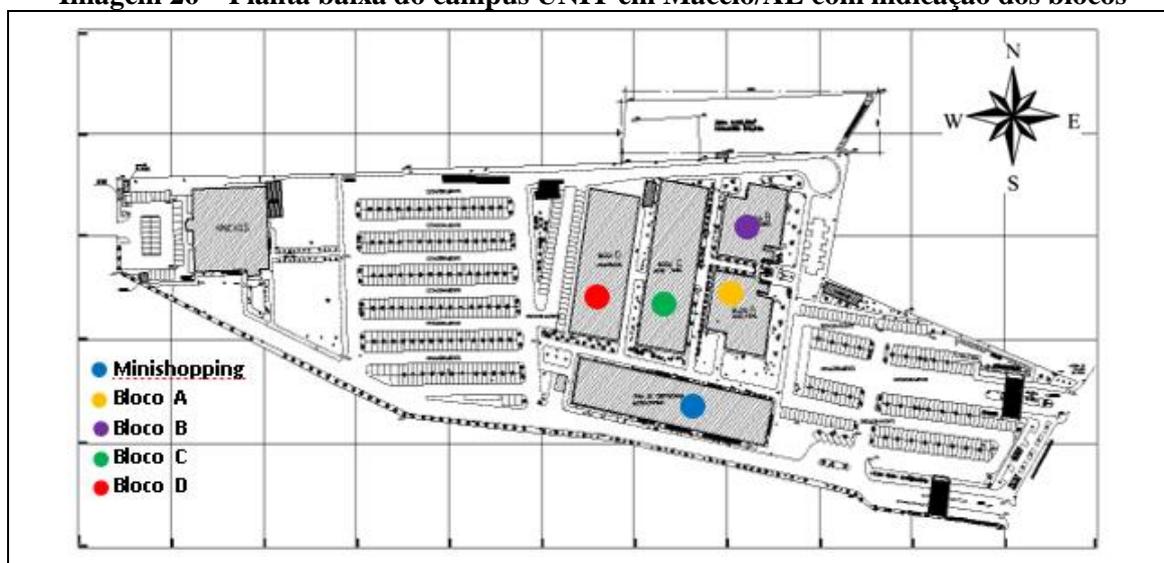
(HORVARTH, 1997). Esses efeitos parecem estar associados ao tempo de permanência no edifício (jornada de trabalho), mas são comuns entre a população geral e mais frequente entre os ocupantes dos "edifícios doentes" (LAHTINEN *et al.*, 1998). Apesar de ser uma característica aparentemente "pequena", os sintomas da SED podem levar a um grande impacto em saúde pública e um custo econômico maior do que a maioria das doenças, devido ao aumento de absenteísmo e diminuição da produtividade entre os trabalhadores afetados (WALLACE, 1997). Os sintomas da SED não são específicos, são persistentes, diminuem rapidamente ao sair do prédio para o almoço, ao retornar para casa, nos fins de semana ocorrem em pelo menos 20% dos ocupantes expostos. Segundo Redlich *et al.* (1997), esse tipo de síndrome ocorre principalmente em edifícios fechados cuja ventilação se faz por meio de ar-condicionado.

**Imagem 25 – Implantação UNIT – localização dos blocos**



Fonte: Google Maps.

**Imagem 26 – Planta baixa do campus UNIT em Maceió/AL com indicação dos blocos**



Fonte: Núcleo de Tecnologia da Informação – NTI (UNIT/AL) – adaptado pela autora.

Apresentando os blocos tipologia arquitetônica praticamente iguais, optou-se pela escolha do Bloco D para o presente estudo, devido à logística para acompanhamento e controle das medições, visto ser esse o bloco de maior concentração de aulas dadas pela pesquisadora proponente. Por vivenciar esses ambientes como local de trabalho, visitando-o diariamente, por um período de seis anos, as inquietações quanto às condições de conforto térmico dos ocupantes puderam ser acompanhadas ao longo de anos, sugerindo desconforto para o frio na maior parte do tempo.

Quanto à estrutura física dos blocos, o bloco D segue a padronização dos demais blocos com quatro pavimentos, sendo o primeiro composto por salas de aula e setores

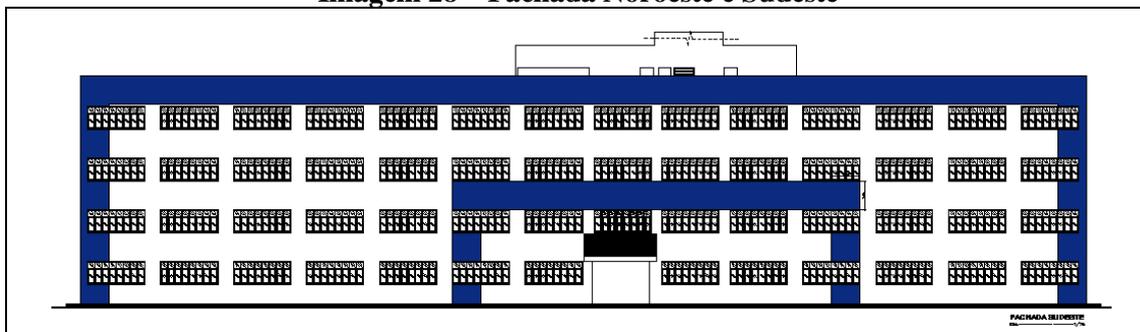
administrativos, e um átrio central com uma lanchonete. As salas de aula, por sua vez, dividem-se em salas de aula teórica, de desenho, atelier e laboratório, distribuídas do primeiro ao terceiro pavimento. O quarto pavimento conta com uma estrutura de apoio apenas para funcionários (Imagens 27-31 e Tabela 12).

**Imagem 27 – Fachadas do Bloco D**



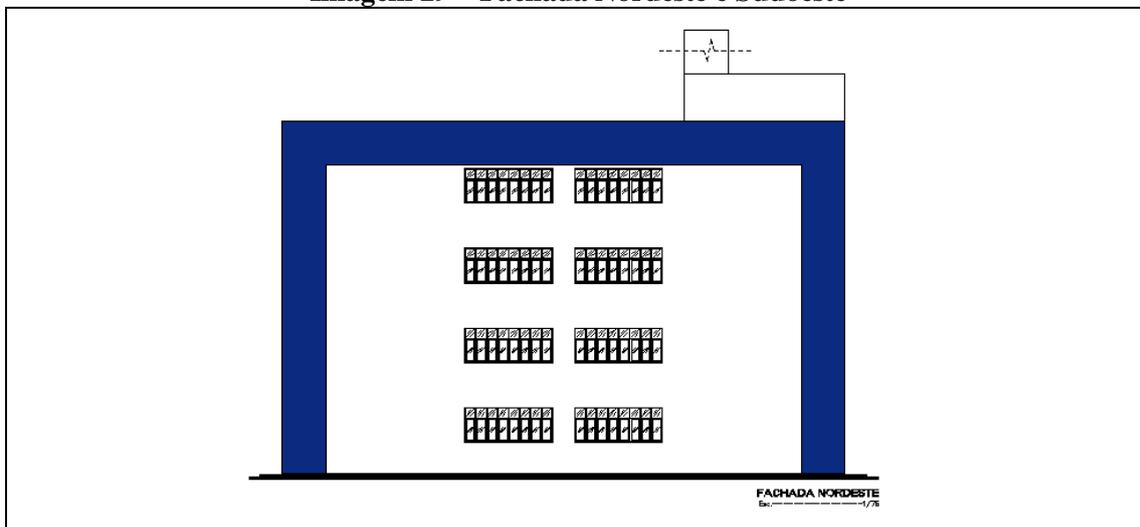
Fonte: Arquivo pessoal da autora

**Imagem 28 – Fachada Noroeste e Sudeste**



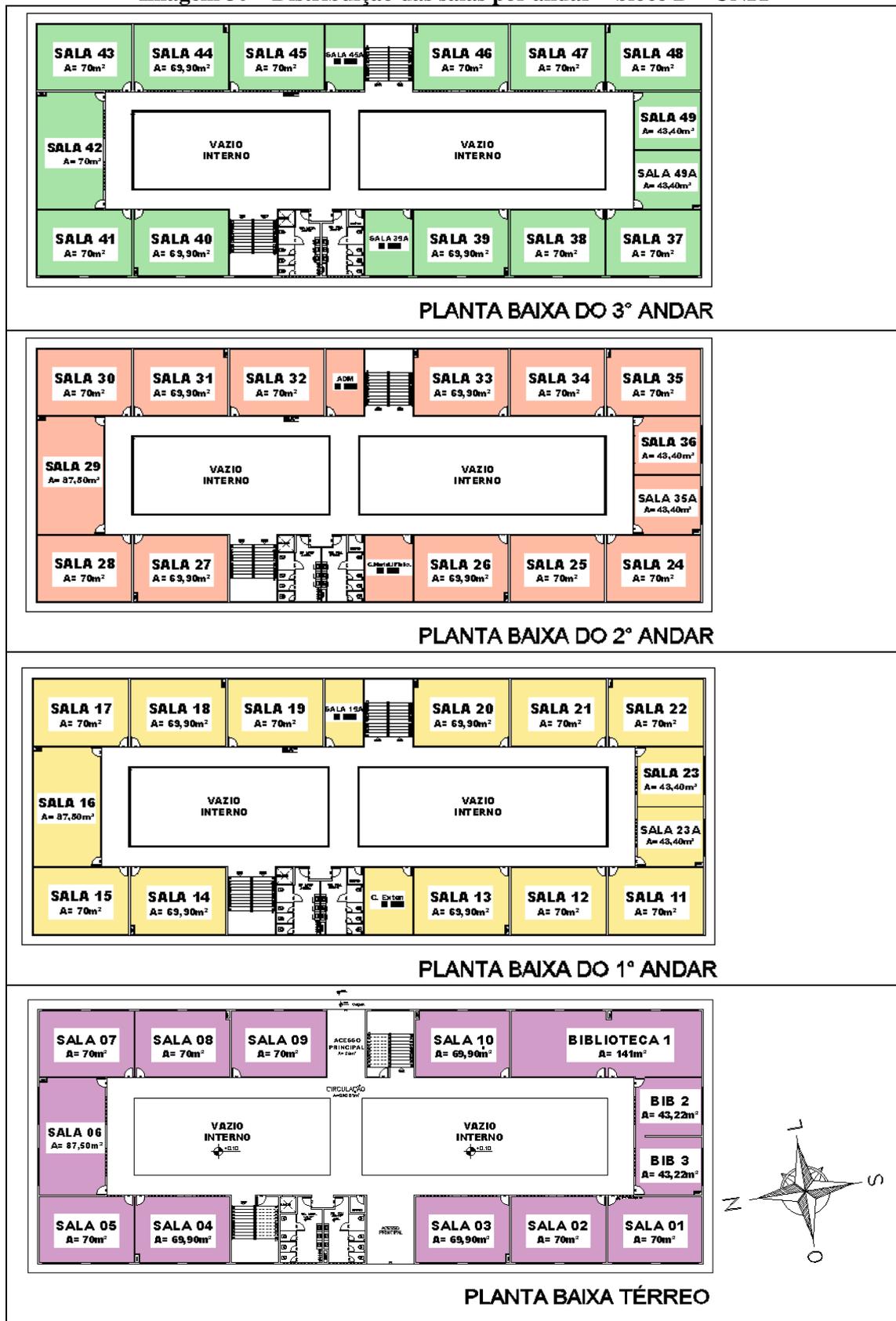
Fonte: Departamento de Infraestrutura e Manutenção – DIM/UNIT.

**Imagem 29 – Fachada Nordeste e Sudoeste**



Fonte: Departamento de Infraestrutura e Manutenção – DIM/UNIT

Imagem 30 – Distribuição das salas por andar – bloco D – UNIT



Fonte: Núcleo de Tecnologia da Informação – NTI (UNIT/AL) – adaptado pela autora.

### Imagem 31 – Salas de aula do Bloco D – UNIT



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

### Imagem 32 – Salas de aula do Bloco D – UNIT



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

### Imagem 33 – Salas de aula do Bloco D – UNIT



Fonte: Arquivo pessoal da autora.

Tabela 12 – Distribuição das salas por pavimento – bloco D

	TÉRREO		2º ANDAR	
QUANT				
1	Sala 01	Lab. mecatrôn I	Sala 24	Sala de aula
2	Sala 02	Lab. mecatrôn II	Sala 25	Sala de aula
3	Sala 03	Lab. de geotecnol	Sala 26	Sala de aula
4	Sala 04	Lab. Conforto	C. Nutri	Sala de aula
5	Sala 05	Sala de aula	Sala 27	Sala de aula
6	Sala 06	Coord. de cursos	Sala 28	Sala de aula
7	Sala 07	Sala de aula	Sala 29	Sala de aula
8	Sala 08	Tiradentes l space	Sala 30	Sala de aula
9	Sala 09	Sala de aula	Sala 31	Sala de aula
10	Sala 10	Lab. mecatrôn III	Sala 32	Sala de aula
11	Bibliot 1	Biblioteca setorial	ADM	Com. Própavali
12	Bibliot 2	Biblioteca setorial	Sala 33	Sala de aula
13	Bibliot 3	Biblioteca setorial	Sala 34	Sala de aula
14			Sala 35	Sala de aula
15	-----	-----	Sala 36	Sala de aula
16	-----	-----	Sala 35A	Sala de aula
	1º ANDAR		3º ANDAR	
QUANT				
1	Sala 11	Sala de aula	Sala 37	Lab.de física I
2	Sala 12	Sala de aula	Sala 38	Lab.de física II
3	Sala 13	Sala de aula	Sala 39	Atelier I
4	C. Ext	Sala coordenação	Sala 39A	Sala de aula
5	Sala 14	Sala de aula	Sala 40	Atelier II
6	Sala 15	Sala de aula	Sala 41	Sala multiuso
7	Sala 16	Sala de aula	Sala 42	Sala de aula
8	Sala 17	Lab. de des I	Sala 43	Sala de aula
9	Sala 18	Lab. de des II	Sala 44	Sala de aula
10	Sala 19	Lab. de des III	Sala 45	Sala de aula
11	Sala 19A	Disciplina online	Sala 45A	Sala de aula
12	Sala 20	Lab. de des IV	Sala 46	Sala de aula
13	Sala 21	Lab. de des V	Sala 47	Sala de aula
14	Sala 22	Sala de aula	Sala 48	Sala de aula
15	Sala 23	Sala de aula	Sala 49	Sala de aula
16	Sala 23A	Sala de aula		

O estudo de caso da presente tese se tornou um exemplar pertinente para verificar a hipótese levantada de que o provável elevado consumo energético causado pelo sistema de ar-condicionado se deve a determinação de temperaturas de *setpoints* muito baixas de resfriamento para os ambientes.

### 3.1.3 Experimento

Para que o conforto térmico do usuário seja estudado, normalmente utilizam-se dois tipos de pesquisas: em câmaras climatizadas (realizadas em ambientes controlados pelo pesquisador, nas quais manipulam-se variáveis ambientais, pessoais ou subjetivas com a finalidade de encontrar a melhor combinação possível para o conforto térmico); e as pesquisas de campo (realizadas em ambientes reais, com pessoas desempenhando atividades de rotina) nas quais o pesquisador não interfere nas variáveis ambientais e pessoais, e as pessoas expressam suas sensações e preferências térmicas em escalas designadas. Os estudos realizados em câmaras climatizadas, principalmente os desenvolvidos por Fanger, na Dinamarca, e posteriormente por outros pesquisadores nos Estados Unidos (EUA) e Reino Unido (UK) contribuíram para a resultante nas Normas de conforto térmico.

A pesquisa de campo é uma das áreas que atrai, particularmente, a proponente deste estudo (pesquisa de campo) desde 2008, quando em sua dissertação de mestrado *avaliou o impacto das variáveis ambientais que afetam a sensação de frio para habitantes do clima quente-úmido de Maceió* (ARAÚJO, 2008), utilizando salas de aula ventiladas naturalmente na Universidade Federal de Alagoas (UFAL). A conclusão para o estudo foi de que a velocidade do ar norteia as sensações relatadas pelos usuários, na medida em que, mesmo nas temperaturas máxima e mínima (atingindo valores próximos a 24,5 e 26,5°C, respectivamente), valores próximos a 1,5 m/s para velocidade do ar registraram mais frequência de desconforto para o frio entre os entrevistados.

Para a presente tese, embasa-se nos valores de temperatura operativa estabelecidos pela NBR 16401:2<sup>11</sup> (ABNT, 2019), com base nos parâmetros de conforto estipulados pela ASHRAE. Apesar de não ser específica para salas de aula, indica para recintos providos de ar-condicionado condicionando artificialmente temperaturas operativas, como mostra a Tabela 13, do subitem 2.1.3.3 já discutido na revisão de literatura.

---

<sup>11</sup> Norma ainda não publicada. Não está em vigor.

**Tabela 13 – Parâmetros de conforto térmico estabelecidos pela NBR 16401-2: 2008**

	VERÃO (roupa típica 0,5 clo)		INVERNO (roupa típica 0,9 clo)	
	Temperatura operativa (°C)	22,5 a 25,5	23,0 a 26,0	21,0 a 23,5
Umidade (%)	65	35	60	30
A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:	0,20 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%).		0,15 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30% a 50%).	

Fonte: NBR 16 401: 2(2008) adaptado pela autora.

Para delimitar o intervalo limite de conforto térmico para os ocupantes das salas de aula e verificar a hipótese do desconforto para o frio, foram utilizados equipamentos de medição, juntamente com aplicação de questionários, para uma posterior análise estatística dos dados através de planilhas. Nesta etapa, o estudo utilizou a pesquisa de campo como parte da metodologia para atingir a primeira parte do objetivo geral do trabalho, que foi definido por *verificar o impacto da definição da temperatura interna para o conforto térmico e para o consumo energético, em ambientes condicionados situados no clima quente e úmido.*

Assim, o experimento foi dividido nas seguintes etapas: seleção dos instrumentos de medição; elaboração do questionário e monitoramento das variáveis ambientais.

### **Instrumentos de medição**

Os equipamentos utilizados foram disponibilizados pelo Laboratório de Conforto Ambiental/UNIT que autorizou uso e acesso para a pesquisadora. Para coletar os dados referentes às variáveis ambientais, foram utilizados os equipamentos: 1- Medidor de stress térmico (Modelo TGD-200); 2- Registradores micro processados (HOBO HT-70); 3-Termo anemômetro digital (TAD-500) (Imagem 31), que terão suas características descritas a seguir.

**Imagem 34 – Instrumentos de medição**

		
<p>a- medidor de estresse térmico (Modelo TGD-200)</p>	<p>b- registradores micro processados (HOBO HT-70)</p>	<p>c- termo-anemômetro digital (TAD-500)</p>

### **i -Termômetro de globo (medidor de estresse térmico –Modelo TGD-200)**

Composto de Indicador e módulo-sensor com três sondas, indica as medições de bulbo seco e úmido, temperatura de globo e efetua o cálculo de IBUTG interno e externo. Para o presente estudo, o equipamento foi utilizado para a medição da temperatura de globo.

### **ii - Registradores micro processados (HOBO HT-70)**

O *data logger* HOBO é um registrador de umidade, temperatura e iluminação, que registra seus dados através de um *software* (para programação, descarregamento de gráfico e emissão de relatório de dados), meio pelo qual os dados podem ser visualizados e trabalhados estatisticamente. Foi utilizado na pesquisa, tendo em vista aferir os resultados entre o armazenador na estação microclimática e esses registradores microprocessados.

Foi programado para registrar os dados em intervalos de 5 min.

### **iii -Termo-anemômetro digital (TAD-500)**

Medidor de temperatura e velocidade do vento, possui ventoinha e sensor tipo K.A

As próximas etapas metodológicas consistiram em: monitoramento e aplicação de questionários, tabulação e análise dos dados.

### **Elaboração do questionário**

Para a realização da pesquisa de campo foi necessária a elaboração de um questionário com perguntas envolvendo a sensação e aceitabilidade térmica preferida

pelos usuários de acordo com as condições térmicas locais, nos quais nenhum tipo de informação pessoal foi catalogada. Foi utilizado como material de apoio para tal fase, o modelo da ASHRAE 55 (2004), o Apêndice E do ASHRAE *Performance Measurement Protocols – PMP* (2010), além do modelo disponibilizado na NBR 16401:2 (ABNT, 2019). A preferência pelo questionário impresso ao invés do digital foi pela maior facilidade em acompanhar as mudanças de posição do usuário na sala, passando do ponto 1 para o 2 ou 3, e assim por diante, além do descarte imediato daqueles que não participaram do período em tempo integral.

O questionário foi construído com perguntas envolvendo a sensação térmica preferida pelos usuários de acordo com as condições térmicas locais. A Norma ISO 10551/95 adota três perguntas básicas para avaliar o grau de satisfação das pessoas com as condições térmicas do ambiente, como mostram os itens a, b e c, e em conjunto com o modelo de questionário de conforto e aceitabilidade térmica adaptado de Brager e de Dear (2001).

a - “Com relação à sua sensação térmica, como você está se sentindo neste momento?”

b - “De que maneira você se encontra nesse momento?”

c - “Como você preferia estar se sentindo agora?”

O objetivo da aplicação dos questionários foi avaliar a percepção, aceitabilidade e a preferência térmica dos indivíduos. Foram incluídos, também, dados antropométricos, taxa metabólica e vestuários dos entrevistados.

A partir da Norma ISO 9920/95, foi desenvolvida uma tabela contendo tipos de vestimentas, permitindo fazer diferentes combinações de acordo com a vestimenta utilizada pelo entrevistado, assim como a possível retirada ou sobreposição de alguma peça de roupa durante o monitoramento. Fizeram parte, também, informações pessoais como gênero, idade e altura, com a intenção de investigar a possível disparidade entre as preferências de acordo com a variação destes itens (Quadro 6).

O questionário aplicado bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foram submetidos para a aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa (CONEP) por meio da Plataforma Brasil (BRASIL, 2019). Os documentos foram aprovados pelo CONEP, com CAE 21590719.0.0000.5641 pelo sistema CEP/CONEP, em 31 de outubro de 2019 (Anexo 4).

**Quadro 6 – Modelo do Questionário de conforto e aceitabilidade térmica aplicado**  
**AVALIAÇÃO DE CONFORTO E ACEITABILIDADE TÉRMICA**

Idade: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_ Peso: \_\_\_\_\_ Sexo: F ( ) M ( ) Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**1. Com relação a sua sensação térmica: Como você está se sentindo neste momento?**

	Com muito frio	Com frio	Levemente com frio	Neutro	Levemente com calor	Com calor	Com muito calor
1							
2							
3							
4							
5							

**2. De que maneira você se encontra neste momento?**

	1	2	3	4	5
Inaceitável					
Aceitável					

**3. Como você preferia estar se sentindo neste momento?**

	1	2	3	4	5
Mais aquecido					
Assim mesmo					
Mais resfriado					

**4. Em relação a temperatura do ar, qual é a sua sensação neste momento?**

Se INACEITÁVEL:						Se ACEITÁVEL:					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Com frio						Frio					
Com muito frio						Estável					
Com calor						Quente					
Com muito calor											

**5. Em relação a temperatura do ar – set point –, a atividade desenvolvida no ambiente chega a ser afetada por ela?**

	1	2	3	4	5
As vezes					
Nunca					
Sempre					

**6. Quando você utiliza o ar-condicionado como estratégia de conforto térmico? (podendo marcar mais de uma opção)**

Em casa, no quarto		No carro	
Em casa		No trabalho	
Não utiliza		Outros	

**7. Qual atividade você está desenvolvendo?**

	1	2	3	4	5
Sentado					
Sentado, escrevendo					
Em pé, desenhando					
Andando					

**8. Qual roupa você está usando?**

<b>Roupa de baixo</b>	Calcinha	Calcinha e sutiã	Cueca	Camiseta	Camisa manga longa
<b>Camisetas e blusas</b>	Manga curta	Fina, longa	Normal, longa	Flanela, manga	Blusa fina, longa
<b>Calças</b>	Bermuda	Calça fina	Calça normal	Calça flanela	Macacão
<b>Saias e vestidos</b>	Saia curta	Saia média	Saia longa	Vestido manga curta	Vestido manga longa
<b>Sapatos e meias</b>	Sandálias	Sapato	Botas	Meia fina	Meia grossa
<b>Diversos</b>	Casaco	Jaqueta	Suéter	Colete	

Posição na sala

Para controle do pesquisador. Por favor, não preencha.

### **Monitoramento das variáveis ambientais e aplicação dos questionários**

As medições relativas às variáveis ambientais foram realizadas com base no disposto na Norma ISO/DIS 7726/98 – Ambientes térmicos – Instrumentos e métodos para medição dos parâmetros físicos. Nela constam, dentre outros, os métodos de medição para ambientes moderados e aqueles sujeitos a estresse térmico.

Quanto à localização dos sensores de medição, indica as seguintes alturas (Tabela 14):

**Tabela 14 – Alturas recomendadas para medição de variáveis físicas**

Localização dos sensores	Variável	Sentado	Em pé
Nível da cabeça	Temperatura de globo	1,1 m	1,7 m
Nível do abdômen	Temperatura e velocidade média do ar	0,6 m	1,1 m

Fonte: Adaptado de NBR 16401:2 (2019).

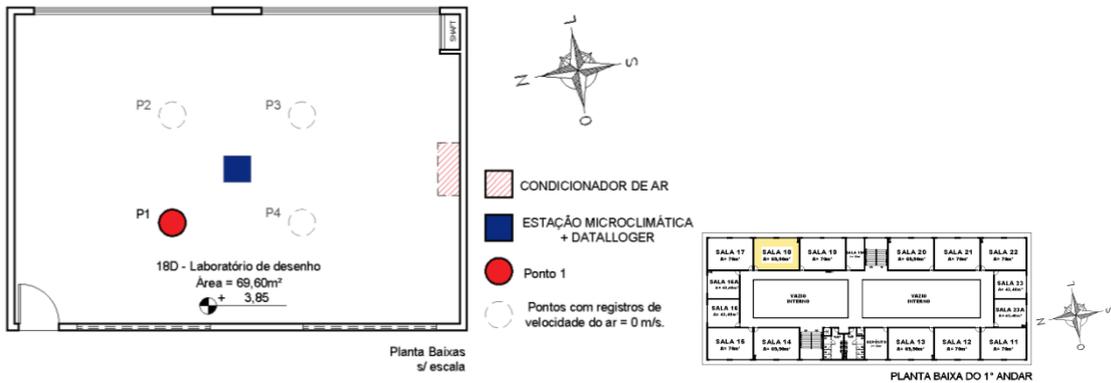
Com base no exposto, as medições das variáveis foram realizadas considerando a altura do usuário sentado. No entanto, pelas medições terem sido realizadas em salas com diferentes configurações de mobiliário, sala “teórica” (cadeiras escolares altura padrão) e salas de desenho (bancos com pranchetas), as alturas variaram entre 0,6m e 1,1m.

As medições da velocidade do ar foram inicialmente divididas em pontos nos ambientes, que variavam com a distribuição dos usuários pela mesma. De maneira a padronizar os pontos de medição da velocidade do ar, foram selecionados até quatro pontos nas salas, decorrentes da distribuição espontânea dos usuários pelo ambiente, podendo se resumir a um único ponto, a depender da atividade desenvolvida em sala de aula pelos professores. No entanto, percebeu-se a recorrência de pontos onde a velocidade do vento só era sentida pelos usuários, a sua altura, em um ponto específico do corredor de vento causado pelo sistema condicionador de ar. Assim, pelos usuários não sentirem a presença do vento e pelo registro zero nesses demais três pontos, estes foram reduzidos apenas a um ponto.

Os pontos seguiam a seguinte distinção: P1 – próximo à porta; P2 – ponto linear a P1, paralelo à parede com janelas baixas que configuram a fachada (SE); P3 – seguindo a sequência, linear a P2, também próximo à parede com janelas (fachada– SE) e por fim P4 – ponto distante da porta e distante da parede com janelas, como podem ser visualizados nas Imagens 35 a 38. A legenda informa que os pontos assinalados com

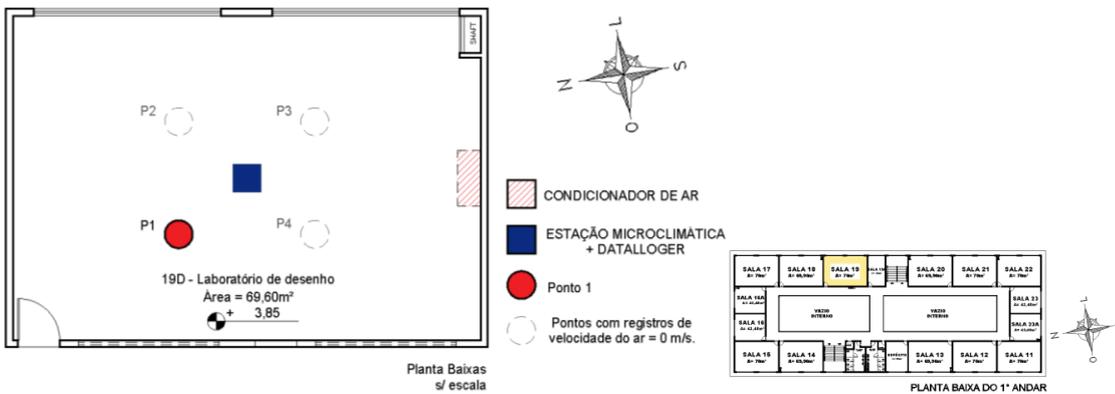
retângulo referem-se àqueles onde se localizam o *dattaloger* e a estação microclimática e os pontos representados por um círculo, referem-se aos locais de medição com o anemômetro. Em cada ambiente medido, o número de pontos foi determinado em função das características das salas de aula.

**Imagem 35 – Planta baixa laboratório de desenho - 18D**



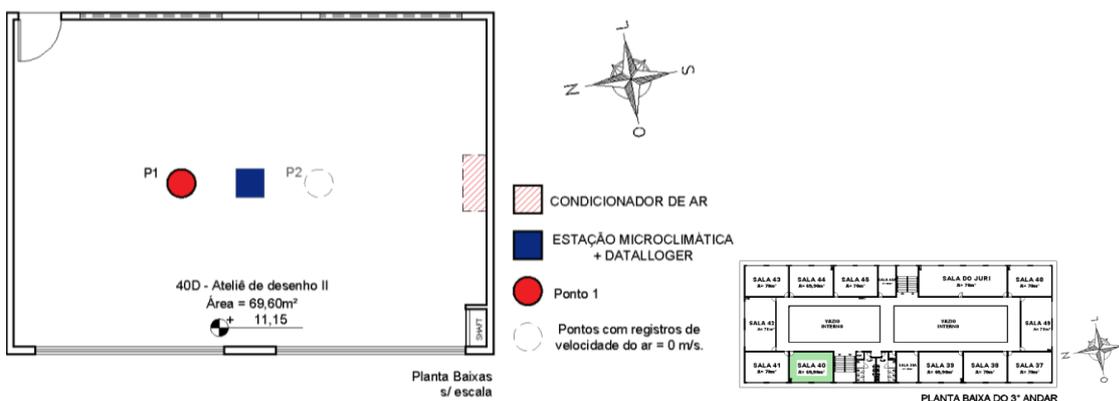
Utilizada nos monitoramentos 1;3; 4; 6; 8; 10; 12; 13 e 16.

**Imagem 36 – Planta baixa laboratório de desenho – 19D**

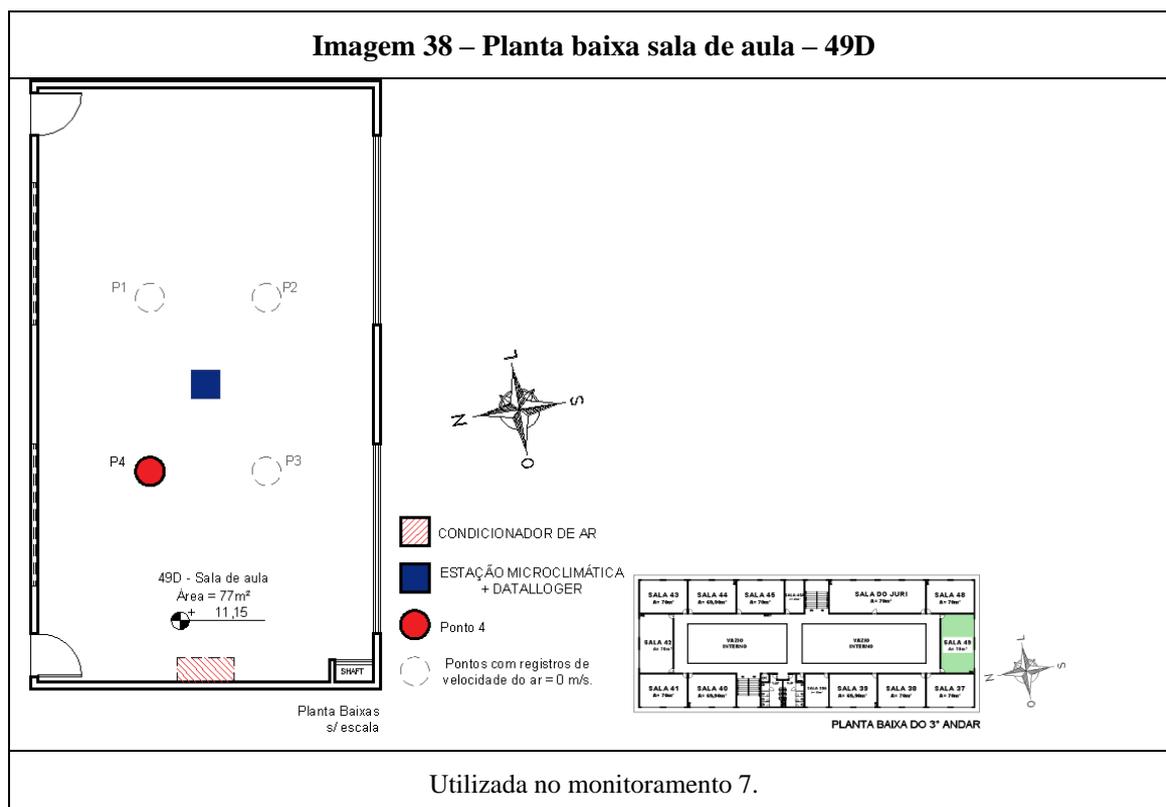


Utilizada nos monitoramentos 11; 14; 15.

**Imagem 37 – Planta baixa ateliê de desenho – 40D**



Utilizada nos monitoramentos 2; 5; 9.



Através dos esquemas em planta baixa apresentados, demonstram-se a localização das salas quanto às fachadas (orientação), tendo sido utilizadas três das quatro fachadas. Na fachada Nordeste não foi utilizada nenhuma sala para medição, devido não contemplar nenhuma aula para o período monitorado com possibilidade de medição das variáveis ambientais pelo tipo de atividade desenvolvida pelo professor (aula teórica). Quanto aos andares, foram monitoradas salas localizadas no 1º e 3º andar, também por, no período monitorado, não haver aula disponível para registrar os dados ambientais ou a atividade exercida pelo professor comprometeria os resultados.

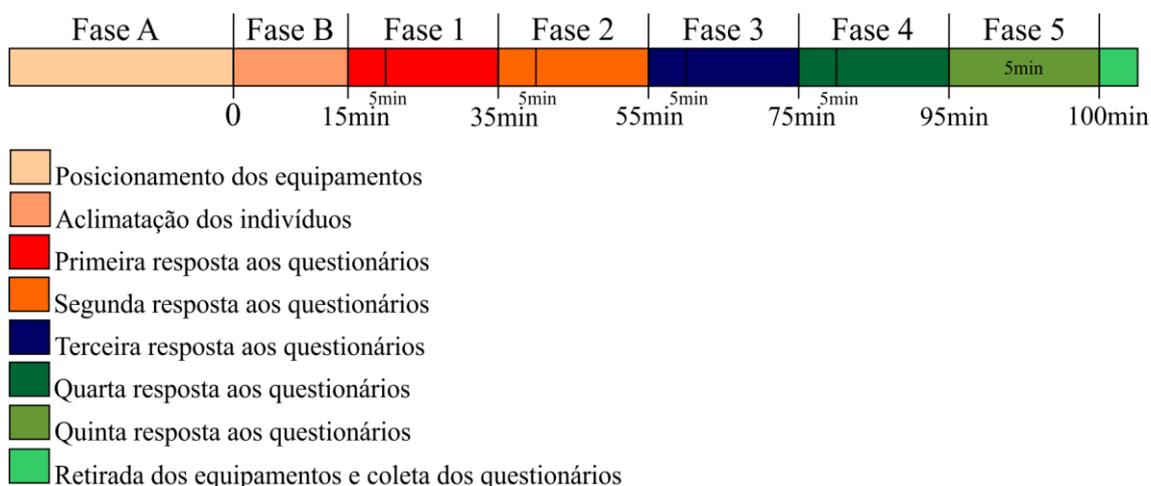
O medidor de estresse térmico, utilizado para medir a temperatura de globo, foi posicionado no ambiente 30min antes do início das medições para estabilização do equipamento, assim como recomenda a ISO 7726 (1998) e o manual do fabricante. Após o início da aula pelo professor, os alunos passavam por um período de aclimatação de 15min até que fosse dado início as medições das variáveis ambientais e solicitada a primeira resposta ao questionário. A prática é recomendada pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2010), para que atividades anteriormente praticadas fora do ambiente monitorado não influíssem nas respostas aos questionários.

Dessa forma, os dados de usuários que não participaram integralmente do período de medição, por atraso à aula ou por sair antes do término da mesma, foram considerados espúrios e descartados.

Os usuários responderam aos questionários (Quadro 6) ao mesmo tempo em que foram registrados os dados manuais quanto a *layout*, disposição dos pontos pela sala, velocidade do ar, temperatura de globo, entre outras, como pode ser visto na ficha de medição (Quadro 7). Os usuários foram identificados na sala por numeração prescrita no próprio questionário de acordo com a distribuição espontânea dos mesmos pelo ambiente.

Cada usuário respondeu ao questionário cinco vezes em um intervalo de 20 minutos entre as respostas, como mostra o esquema representado na Imagem 39. Após o término de cada período de medição, as respostas foram repassadas para planilhas, trabalhadas graficamente de maneira a facilitar a análise posterior dos dados.

**Imagem 39 – Cronograma de medições e aplicação do questionário**



Os votos referentes à sensação térmica foram avaliados de acordo com a escala sétima, com base nos critérios estabelecidos por Fanger (1970), que segue determinação já apresentada na Tabela 5. Nela, o autor considera sensação de conforto para os ocupantes que respondem +1 (levemente desconforto para o calor); 0 (neutro); ou -1 (leve desconforto para o frio).

Quadro 7 – Modelo da ficha de medição adotada

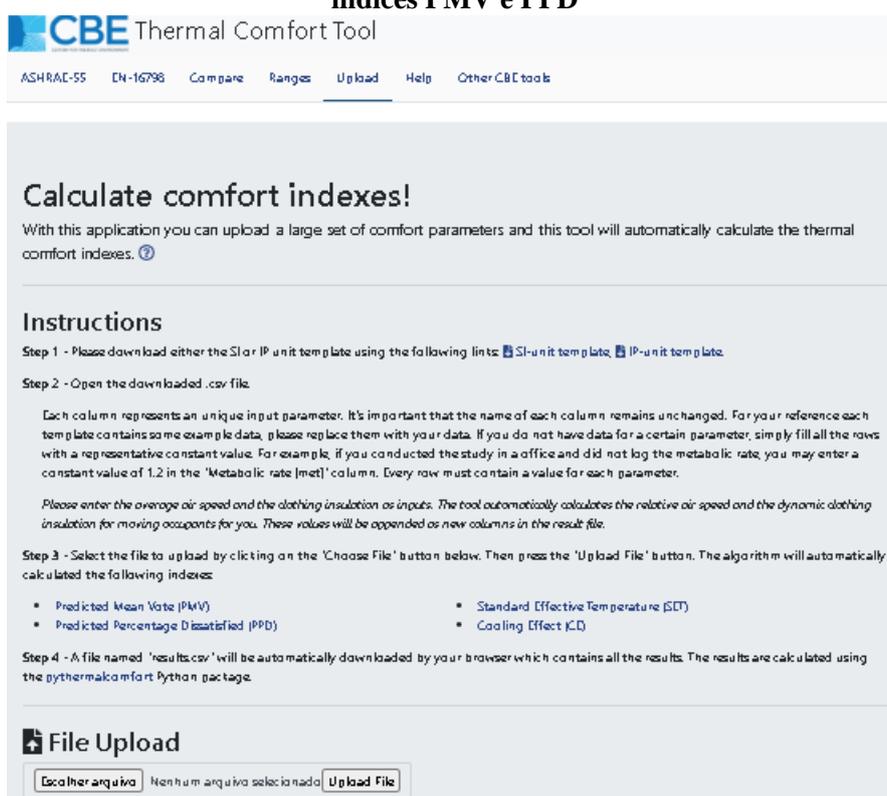
FICHA DE MEDIÇÃO																					
Semana:		Data:		Período:																	
<b>Dados INMET</b>																					
Temp. mín:		Temp. máx:		Umid. máx:																	
Temperatura interna (globo):																					
<b>Condições climáticas</b>																					
Céu:			Chuva:																		
<b>Ambiente</b>																					
Sala:		Pavto.:		Professor:																	
Iluminação			Ventilação																		
Natural:		Artificial: x		Ar condicionado: x																	
Layout:																					
<b>Medições temperatura superficial – termômetro de infravermelho</b>																					
<i>Superfície</i>		<i>Temp.</i>		<i>Superfície</i>																	
Parede 1		Parede 3		Teto																	
Parede 2		Parede 4		Piso																	
<b>Ocupantes:</b>																					
Atividade predominante:																					
Questionários:		Hora																			
		Temp.																			
<b>Medições velocidade do ar - anemômetros</b>																					
		<b>Ponto 1</b>				<b>Ponto 2</b>				<b>Ponto 3</b>											
<i>med</i>																					
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					

Ao final, os dados foram tabulados em planilhas para serem posteriormente analisados graficamente utilizando o modelo estático de Fanger.

### **Avaliação do conforto térmico com base no modelo estático**

Para a avaliação do conforto térmico com base no modelo estático foi necessário utilizar a calculadora *on-line* CBE Thermal Comfort Tool (HOYT *et al.*, 2020) (Imagem 40) para o cálculo dos índices do PMV e do PPD. É uma ferramenta *on-line* gratuita para cálculos e visualizações de conforto em conformidade com o ASHRAE 55–2017, ISO 7730: 2005 e EN 16798-1: 2019 Standards (TARTARINI *et al.*, 2020).

**Imagem 40 – Calculadora *on-line* utilizada para a obtenção dos índices PMV e PPD**



Fonte: Hoyt *et al.* (2020).

A calculadora solicita como dado de entrada: temperatura radiante média, temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, umidade relativa, taxa metabólica e isolamento de vestimenta. Fez-se o *download* do modelo SI ou IP, em seguida substituem-se os dados do exemplo do arquivo baixado pelos dados que se deseja calcular e salva o arquivo no formato *.csv*. Posteriormente foi feito o *upload* do arquivo e a CBE Thermal Comfort Tool executa os cálculos no *back-end* e automaticamente

baixará o arquivo, quando todos os cálculos forem concluídos (TARTARINI *et al.*, 2020).

Os dados obtidos com as medições das variáveis ambientais indicaram a influência daquela que se destacou para as sensações preditas pelos ocupantes das salas de aula. A temperatura interna também foi útil para definir a faixa que foi posteriormente utilizada no *software* de eficiência energética, utilizando somente intervalos dentro das faixas registradas. As respostas dos questionários foram analisadas quanto ao limite para a sensação de conforto térmico para que posteriormente fossem avaliadas do ponto de vista energético, ou seja, se a temperatura indicada pelos ocupantes como a mais confortável é aquela mais viável energeticamente.

### 3.2 Simulação termoenergética

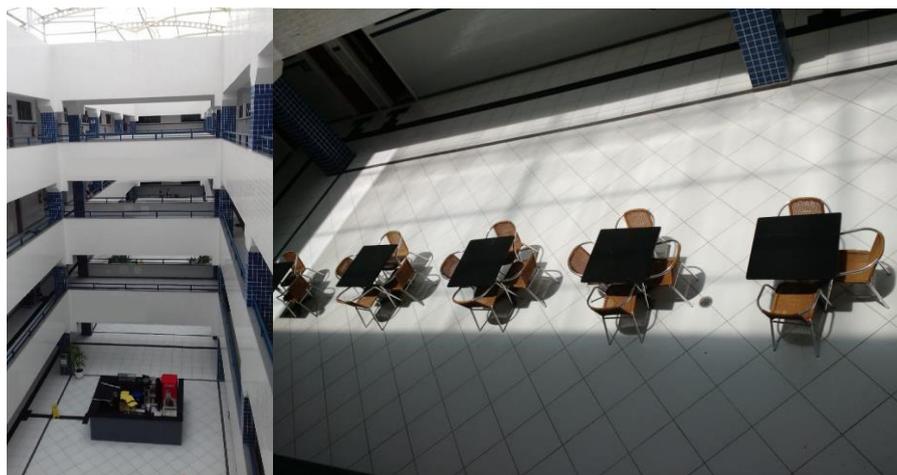
As simulações termoenergéticas foram realizadas com o objetivo de analisar a influência do COP (Coeficiente de Performance) do ar-condicionado no consumo de energia elétrica. Para isso, analisou também aspectos construtivos relativos à envoltória e à orientação da edificação. Assim, foram analisadas possibilidades que possam melhorar as condições de consumo energético.

Para investigar a hipótese levantada, a edificação existente foi modelada utilizando o Euclid, uma extensão/*plug-in* gratuito para o *Sketchup*, que facilita a criação e modificação de entradas geométricas para a construção de modelos de energia, posteriormente utilizadas nas simulações através do *Energy Plus* versão 8.8, como já citado na seção do referencial teórico.

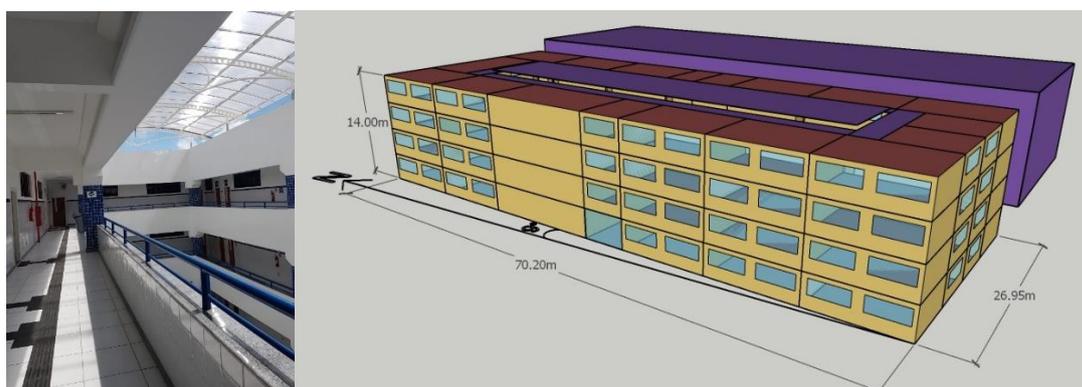
Para avaliar o desempenho térmico da edificação, foram criadas zonas térmicas para todas as salas que funcionam utilizando sistema de ar-condicionado, excetuando áreas de escadas dos banheiros.

A cobertura foi modelada como um elemento translúcido, suspenso, no entanto a carga térmica interna não pôde ser simulada nessa área (átrio interno – Imagem 41) por não haver a zona térmica criada, devido ao tipo de modelagem da cobertura não permitir esse elemento (Imagem 42). Assim, diante dessa simplificação do modelo, optou-se por adicionar aos valores finais das simulações a potência referente às luminárias dos corredores que compõem os pavimentos, como forma de manter os dados simulados mais próximos da situação real apresentada na conta de energia disponibilizada pela Instituição (Anexo 1).

**Imagem 41 – Átrio do bloco D – UNIT/AL**



**Imagem 42 – Cobertura e sua modelagem para o átrio do bloco D – UNIT/AL**



### 3.2.1 Parâmetros simulados: Estudo de caso

#### 3.2.1.1 Propriedades térmicas dos componentes da envoltória

A determinação dos ganhos e perdas de calor entre o ambiente exterior e o interior é feita através dos componentes da envoltória (paredes, cobertura, aberturas e piso). O desempenho térmico, por sua vez, é determinado pela orientação da edificação, a forma arquitetônica e as propriedades termo físicas dos materiais. Dessa forma, serão apresentados os dados correspondentes a estas componentes que serviram de base para as simulações computacionais realizadas.

##### i) Esquadrias

###### • Vidro (Janelas)

Foram modeladas duas composições para os vidros das esquadrias existentes no estudo de caso. As esquadrias localizadas nas fachadas possuem vidros com película preta, já aquelas localizadas no interior da edificação, com aberturas para os corredores e átrio interno, são do tipo fumê. Assim, tem-se (Tabela 15):

**Tabela 15 – Propriedades térmicas do vidro**

	Espessura	$\tau_v$	$\tau$
<b>Vidro fumê*</b>	4 mm	0,55	0,58

Onde:

$\tau_v$  – Transmitância visível

$\tau$  – Transmitância solar

\*sem película

Fonte: NBR 15 220 (2003)

### • Porta (Entrada principal)

Foram modeladas duas composições para as portas existentes no projeto real:

Porta interna, de madeira, e, porta externa, de vidro. Assim, tem-se (Tabela 16):

**Tabela 16 – Propriedades térmicas das esquadrias**

<b>Porta de vidro*</b>	Espessura	$\tau_v$	$\tau$
	4 mm	0,891	0,808

Onde:

$\tau_v$  – Transmitância visível

$\tau$  – Transmitância solar

\*incolor

<b>Porta de madeira</b>	Espessura	$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (KJ/Kg.K)	CT[J/(m <sup>2</sup> .K)]
	3 cm	0,15	600	1,34	120,6

$\lambda$  – condutividade térmica

$\rho$  – densidade da massa

c – calor específico

e – espessura

CT – capacidade térmica

Fonte :NBR 15 220 (2003)

### ii) Piso (pavimento térreo)

O piso foi modelado com o objeto *Ground Domain*, através de composição formada por camadas listadas na Tabela 17, de acordo com as características construtivas adotadas para o edifício do estudo de caso.

**Tabela 17 – Propriedades térmicas do piso**

	Material	$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[J/(m <sup>2</sup> .K)]
Camada 1	Piso cerâmico branco	1,00	1800	0,92	1,0	1.656
Camada 2	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2.300
Camada 3	Camada de concreto	1,75	2200	1,0	10	3.858

Onde:

$\lambda$  – condutividade térmica

$\rho$  – densidade da massa

c – calor específico

e – espessura

CT – capacidade térmica

Fonte: NBR 15220 (2003)

### iii) Paredes

Foram modeladas duas composições de paredes seguindo as características da envoltória da edificação em estudo, uma referiu-se à parede em contato com o exterior (fachadas) e a outra para aquelas que compõem as paredes internas, em contato com o corredor e átrio internos e entre salas. (Tabela 18)

**Tabela 18 – Propriedades térmicas das paredes**

PAREDE EXTERNA						
	Material	$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[KJ/(m <sup>2</sup> .K)]
Camada 1	Cerâmica	1,00	1800	0,92	1,0	1,656
Camada 2	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3
Camada 3	Bloco cerâm	----	----	----	14	150
Camada 4	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3

A parede externa possui revestimento cerâmico e sua absorvância já foi calculada pela média ponderada, como será tratado no item iv deste subitem.

PAREDE INTERNA						
	Material	$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[KJ/ (m <sup>2</sup> .K)]
Camada 1	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3
Camada 2	Bloco cerâm	----	----	----	14	150
Camada 3	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3

Onde:

$\lambda$  – condutividade térmica

$\rho$  – densidade da massa

c – calor específico

e – espessura

CT – capacidade térmica

Fonte: NBR 15220 (2003)

#### iv) Laje (piso entre pavimentos)

Para este componente foi modelada uma composição formada por (Tabela 19):

**Tabela 19 – Propriedades térmicas do piso entre pavimentos**

	Material	$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[KJ/(m <sup>2</sup> .K)]
Camada 1	Piso cerâmico branco	0,90	1900	0,84	1,0	1,436
Camada 2	Contrapiso de cimento	1,15	1000	1,00	2,0	1,115
Camada 3	Laje nervurada de conc.	1,75	2200	1,0	10	3,850
Camada 4	Camada de ar	R = 0,21 (m <sup>2</sup> .K)/W (Resistência da camada de ar)				
Camada 5	Forro de gesso	0,35	900	0,84	3	2.646

Onde:

$\rho$  – densidade da massa

$\lambda$  – condutividade térmica

c – calor específico

Fonte: NBR 15220 (2003)

### v) Laje (Cobertura)

Para este componente foi modelada uma composição formada pelas camadas indicadas na Tabela 20, sem impermeabilização.

**Tabela 20 – Propriedades térmicas da laje (cobertura)**

	Material	$\lambda$ (W/(m.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[J/(m <sup>2</sup> .K)]
Camada 1	Contrapiso de cimento	1,15	1000	1,00	2,0	1.115
Camada 2	Laje nervurada de conc.	1,75	2200	1,0	10	3.850
Camada 3	Camada de ar	R = 0,21 (m <sup>2</sup> .K)/W (Resistência da camada de ar)				
Camada 4	Forro de gesso	0,35	900	0,84	3	2.646

Onde:

$\rho$  – densidade da massa

$\lambda$  – condutividade térmica

c – calor específico

Fonte: NBR 15220 (2003)

### vi) Absortância para o estudo de caso

O Manual do RTQ-C (BRASIL, 2012) sugere que a absortância solar a ser considerada para a avaliação do pré-requisito seja a média das absortâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam. Assim, o valor utilizado para a absortância da fachada foi resultante dessa média. Assim, a Tabela 21 mostra os dados utilizados na ponderação das absortâncias adotadas para o estudo de caso do estudo para o cálculo da média ponderada.

**Tabela 21 – Absortância para a fachada**

FACHADA	A <sub>branco</sub>	$\alpha_{\text{branco}}(\%)$	A x $\alpha$	A <sub>azul</sub>	$\alpha_{\text{azul}}(\%)$	A x $\alpha$	$\Sigma A_T \times \Sigma \alpha_T$
NE	253,36	36,2	9.171,63	107,60	79,9	8.597,24	17.768,87
SO	253,36	36,2	9.171,63	107,60	79,9	8.597,24	17.768,87
SE	502,55	36,2	18.192,31	249,33	79,9	19.921,46	38.113,77
NO	502,55	36,2	18.192,31	249,33	79,9	19.921,46	38.113,77
<b>TOTAL(<math>\Sigma</math>)</b>	1.511,82			713,88			

Onde:

$\Sigma A_T$  – somatório das áreas

A<sub>branco</sub> – área da fachada na cor branca

$\alpha_{\text{branco}}$  – absortância adotada para cor branca, de acordo com o Manual do RTQ-R

A<sub>azul</sub> – área da fachada na cor azul

$\alpha_{\text{azul}}$  – absortância adotada para cor azul, de acordo com o Manual do RTQ-R

Fonte: Anexo V do Manual do RTQ-R (2012)

$$\alpha_{\text{Fachadas}} = \frac{(A_{\text{TFNE}} \times \alpha_{\text{TNE}}) + (A_{\text{TFSO}} \times \alpha_{\text{TSO}}) + (A_{\text{TFSE}} \times \alpha_{\text{TSE}}) + (A_{\text{TFNO}} \times \alpha_{\text{TNO}})}{\Sigma \text{Área das fachadas}} \quad [\text{Eq. 10}]$$

Onde:

$\alpha_{\text{Fachadas}}$  – Absortância Total para as Fachadas

$A_{TFNE}$ – Área Total da Fachada Nordeste

$\alpha_{TNE}$ – Absortância da Fachada Nordeste

$A_{TFOS}$ – Área Total da Fachada Sudoeste

$\alpha_{TSO}$ – Absortância da Fachada Sudoeste

$A_{TFSE}$ – Área Total da Fachada Sudeste

$\alpha_{TSE}$ – Absortância da Fachada Sudeste

$A_{TFNO}$ – Área Total da Fachada Noroeste

$\alpha_{TNO}$ – Absortância da Fachada Noroeste

Dessa forma, temos o valor final de absortância para as fachadas  $\alpha_{Fachadas}=50,21$ .

Para a cobertura, como trata-se apenas de um tipo de material (concreto), utilizou-se a absortância para cor de concreto (Imagem 43), de acordo com a tabela disponível do Manual do RTQ-R (2013). Assim  $\alpha_{cobertura}=74,5$ . Segundo o RTQ-C (2013), é obrigatório para Zonas Bioclimáticas 2 a 8 a utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absortância solar baixa,  $\alpha < 0,50$  do espectro solar. Para coberturas a indicação também é válida, indicando ainda uso de telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água. A Tabela 22 mostra os dois valores utilizados na modelagem do edifício analisado.

Os valores das absortâncias utilizados para o cálculo da média ponderada foram extraídos do Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros, INMETRO (2013), bem como aqueles utilizados nas análises comparativas da eficiência energética (Imagem 40).

**Tabela 22 - Absortâncias utilizadas na simulação**

	$\alpha_{Fachadas}$	$\alpha_{cobertura}^{12}$
Estudo de caso	50,21	74,5
Proposição 1	79,9 (azul)	74,5
Proposição 2	61,1 (cinza)	74,5
Proposição 3	36,2 (branco gelo)	74,5
Proposição 4	15,8 (branco)	74,5

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013).

<sup>12</sup> Valor dentro do intervalo também sugerido pela Tabela do Anexo B da NBR 15220-2 (concreto aparente  $0,65 > \alpha < 0,80$ ).

Imagem 43 – Absortâncias para paredes e coberturas

a) Cobertura do Bloco D – UNIT		Tabela de Absortâncias					
	Acrílica Fosca	Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$	
			01		Amarelo Antigo		51,4
			02		Amarelo Terra		64,3
			03		Areia		44,9
			04		Azul		73,3
			05		Azul Imperial		66,9
			06		Branco		15,8
			07		Branco Gelo		37,2
			08		Camurça		57,4
			09		Concreto		74,5
			10		Flamingo		49,5
			11		Jade		52,3
			12		Marfim		33,6
			13		Palha		36,7
			14		Pérola		33,0
			15		Pêssego		42,8
			16		Tabaco		78,1
	17		Terracota		64,6		
	Acrílica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		
		19		Amarelo Terra	68,6		
		20		Azul	79,9		
		21		Branco Gelo	36,2		
		22		Cinza	86,4		
		23		Cinza BR	61,1		
		24		Crepúsculo	66,0		
		25		Flamingo	47,3		
		26		Marfim	33,9		
		27		Palha	39,6		
		28		Pérola	33,9		
		29		Preto	97,1		
		30		Telha	69,6		
		31		Terracota	68,4		
		32		Verde Quadra	75,5		
		33		Vermelho	64,2		

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013)

Valores de absortâncias utilizadas nas simulações comparativas

Tabela de Absortâncias Comparativas (Fosca)					Tabela de Absortâncias Comparativas (Semi-brilho)					
Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$	Tipo	Número	Cor	Nome	$\alpha$	
Acrílica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Acrílica Semi-brilho	20		Azul	79,9	
	02		Amarelo Terra	64,3		21		Branco Gelo	36,2	
	03		Areia	44,9		22		Cinza	86,4	
	04		Azul	73,3		23		Cinza BR	61,1	
	05		Azul Imperial	66,9		24		Crepúsculo	66,0	
	06		Branco	15,8		25		Flamingo	47,3	
	07		Branco Gelo	37,2		26		Marfim	33,9	
	08		Camurça	57,4		27		Palha	39,6	
	09		Concreto	74,5		28		Pérola	33,9	
	10		Flamingo	49,5		29		Preto	97,1	
	11		Jade	52,3						
	12		Marfim	33,6						

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013).

### 3.2.1.2 Componentes geométricos

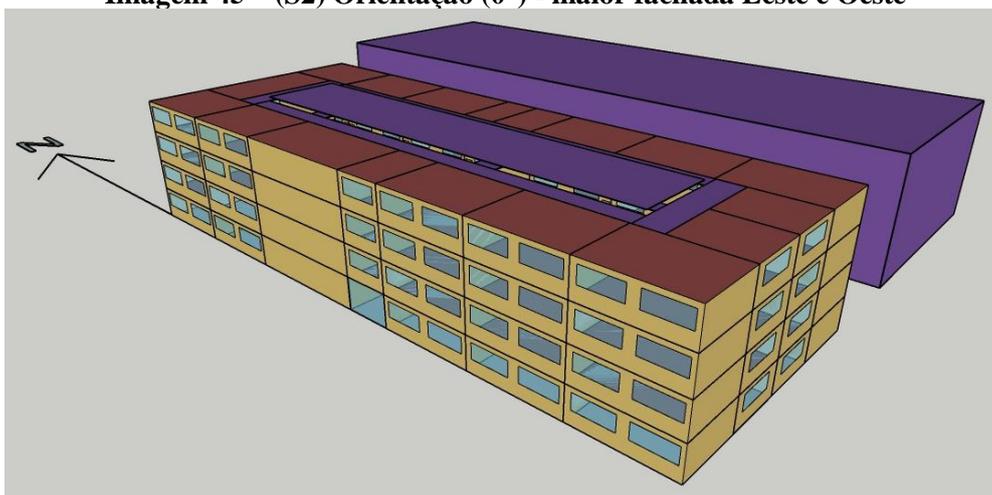
#### i) Variação na orientação do edifício

Como mostra a Figura abaixo, a edificação está a  $9^\circ$  (sentido horário) do Norte. Com o propósito de identificar o percentual de diminuição do consumo energético, utilizou-se as seguintes proposições para simular as orientações, denominadas de S1 (Imagem 44); S2 (Imagem 45); S3 (Imagem 46); S4 (Imagem 47); S5 (Imagem 48).

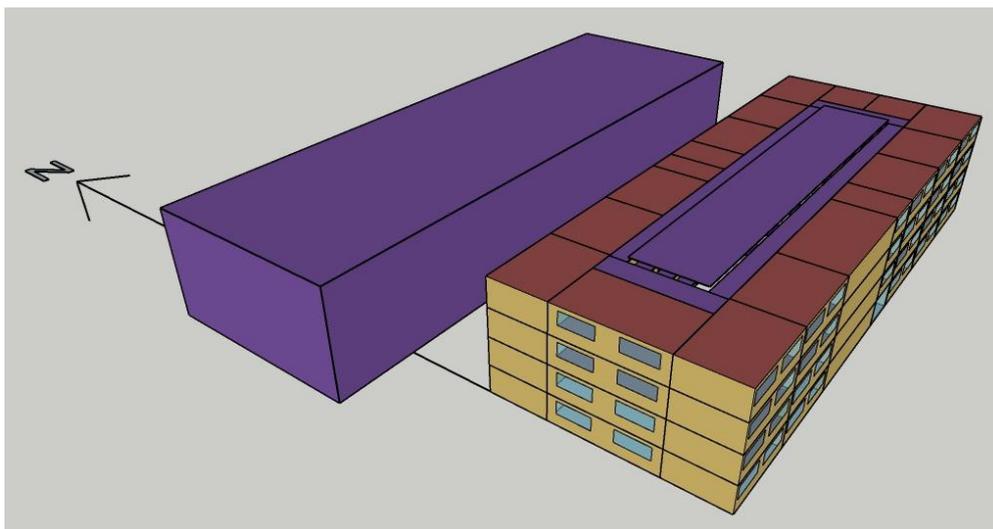
**Imagem 44 – (S1) Orientação atual –  $9^\circ$**



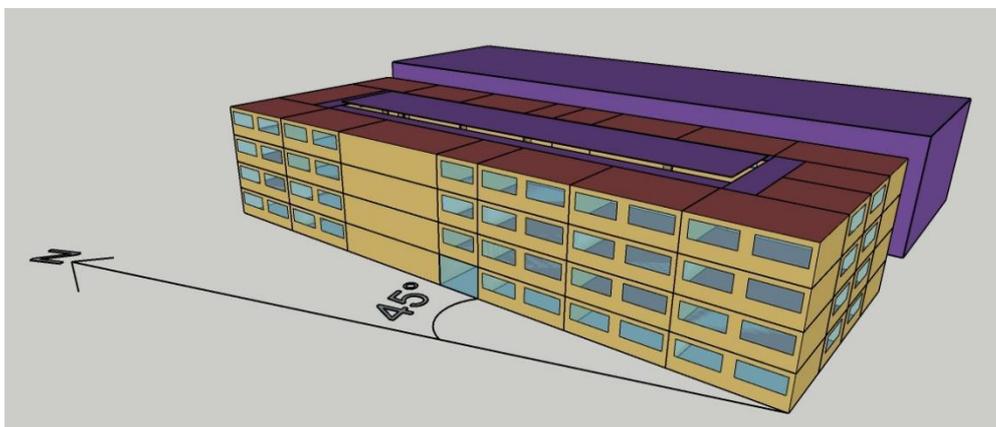
**Imagem 45 – (S2) Orientação ( $0^\circ$ ) - maior fachada Leste e Oeste**



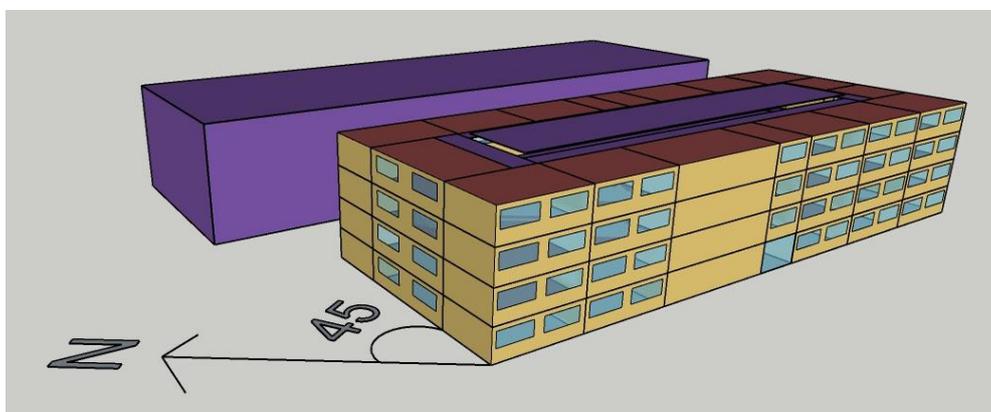
**Imagem 46 – (S3) Orientação ( $0^\circ$ ) – menor fachada Leste e Oeste**



**Imagem 47 – (S4) Orientação ( $45^\circ$ ) - maior fachada a Noroeste e Sudeste**



**Imagem 48 – (S5) Orientação: menor fachada a Noroeste e Sudeste**



## **ii) Sombreamento**

De modo a verificar a influência da proteção solar para a eficiência energética do estudo de caso, adotaram-se três modos de obstrução: proteção total da abertura

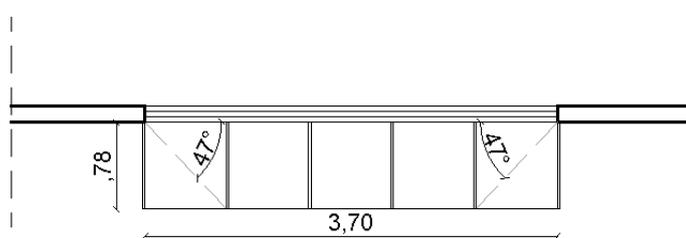
(Imagem 49), proteção de 50% da abertura (Imagem 50) e proteção de 30% da abertura (Imagem 51), que variaram de acordo com os tamanhos das aberturas.

**Imagem 49 – 100% de proteção par as aberturas**

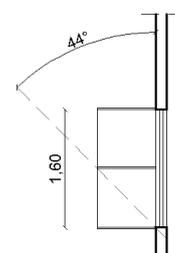
**PROTEÇÃO 100% DA ABERTURA**



**Janela: 3,70 x 1,60 / 1,40 m – Fachadas NO e SE**



Planta Baixa - S/ escala

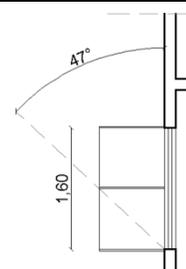


Corte – s/ escala

**Janela: 4,00 x 1,60 / 1,40 m – Fachadas NO e SE**

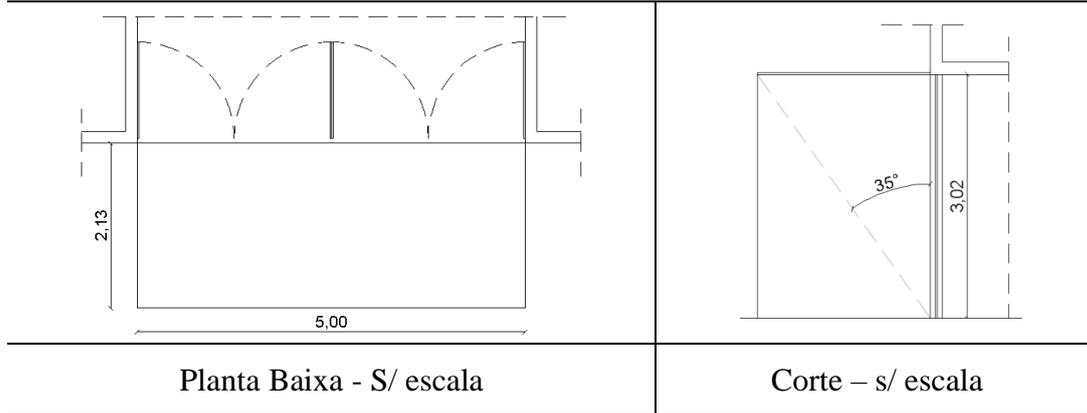


Planta Baixa - S/ escala

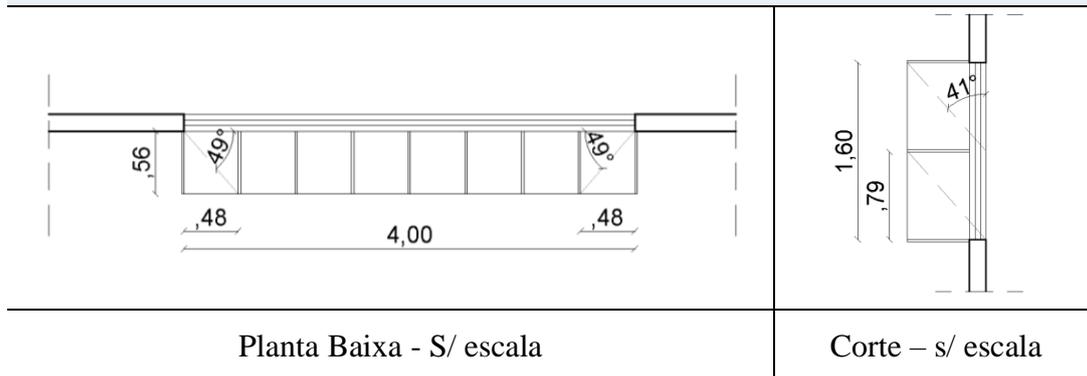


Corte – s/ escala

**Porta: 5,00 x 3,00 m - Fachadas NO e SE**

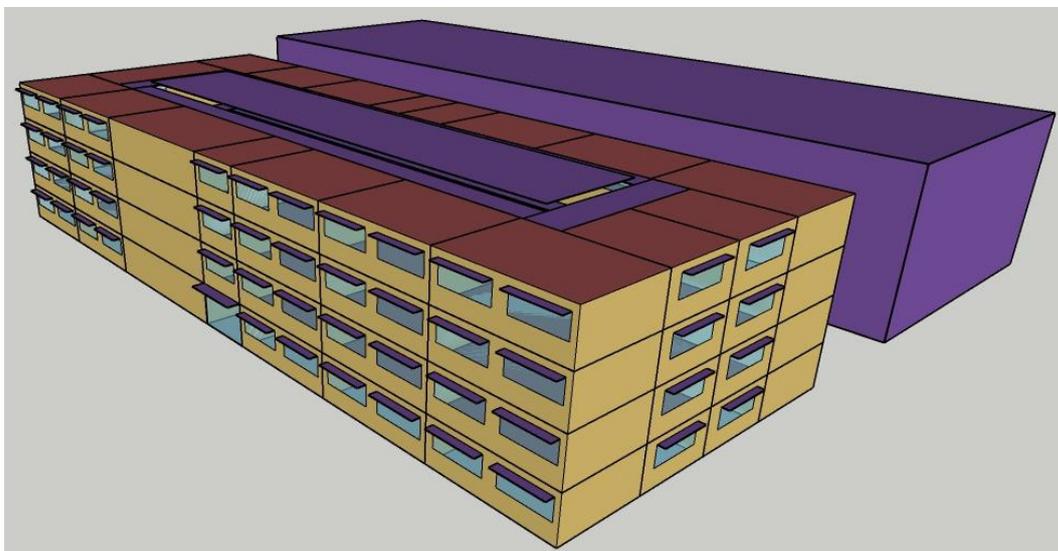


**Janela: 4,00 x 1,60 / 1,40 m – Fachadas NE e SO**

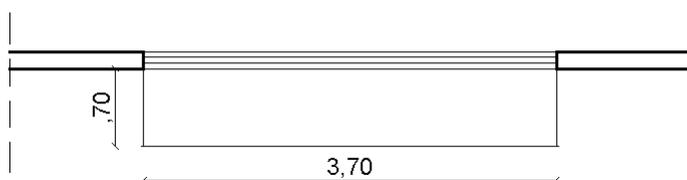


**Imagem 50 – 50% de proteção par as aberturas**

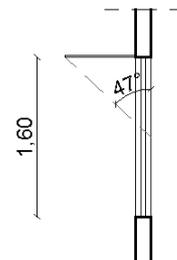
**PROTEÇÃO 50% DA ABERTURA**



**Janela: 3,70 x 1,60 / 1,40 m - Fachadas NO e SE**

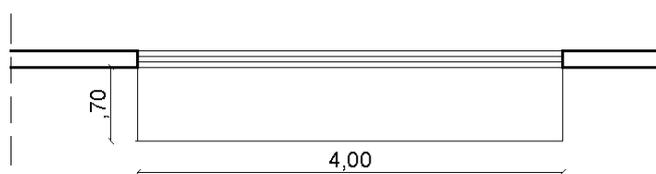


Planta Baixa - S/ escala

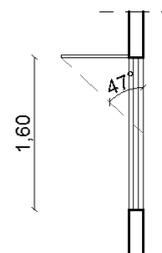


Corte - s/ escala

**Janela: 4,00 x 1,60 / 1,40 m - Fachadas NO e SE**

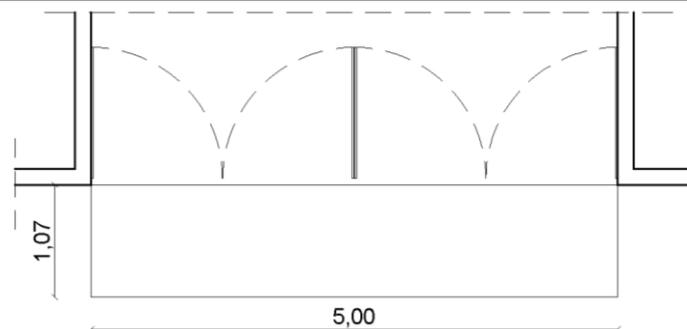


Planta Baixa - S/ escala

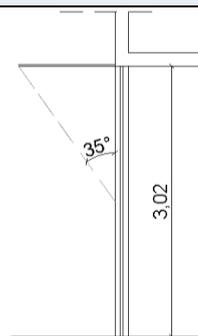


Corte - s/ escala

**Porta: 5,00 x 3,00 m - Fachadas NO e SE**

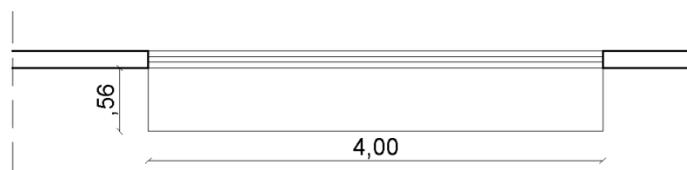


Planta Baixa - S/ escala

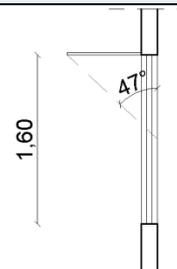


Corte - s/ escala

**Janela: 4,00 x 1,60 / 1,40 m - Fachadas NE e SO**

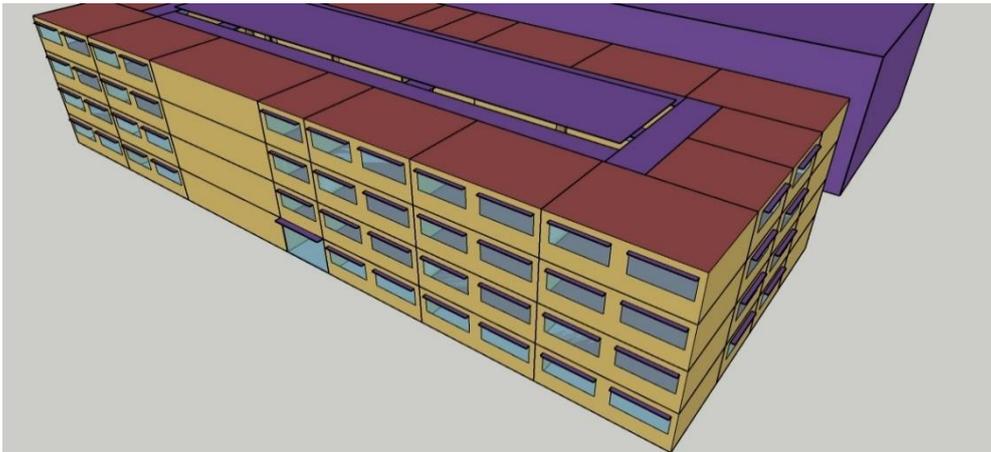
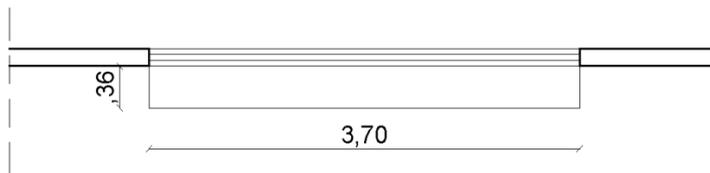


Planta Baixa - S/ escala

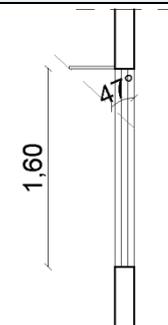


Corte - s/ escala

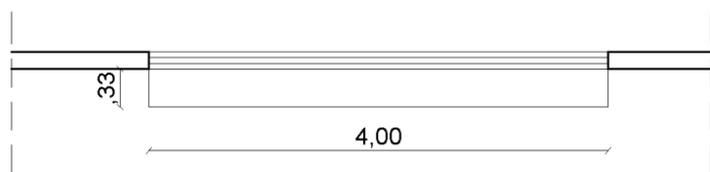
Imagem 51 – 30% de proteção par as aberturas

**PROTEÇÃO 30% DA ABERTURA**

**Janela: 3,70 x 1,60 / 1,40 m - Fachadas NO e SE**


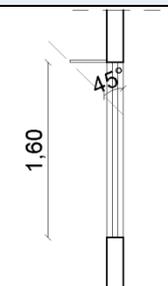
Planta Baixa - S/ escala



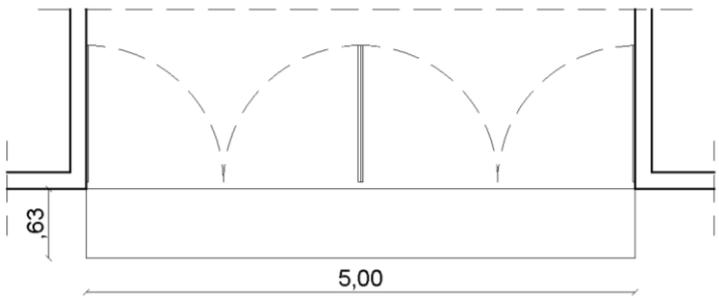
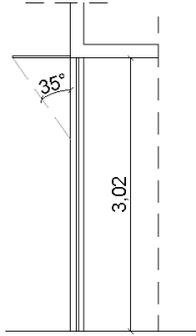
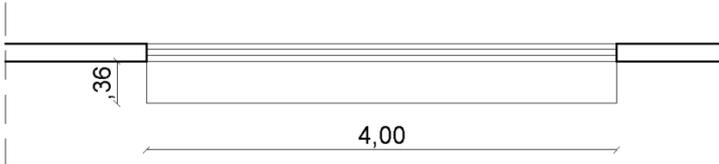
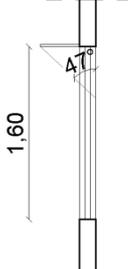
Corte – s/ escala

**Janela: 4,00 x 1,60 / 1,40 m - Fachadas NO e SE**


Planta Baixa - S/ escala



Corte – s/ escala

<b>Porta: 5,00 x 3,00 m - Fachadas NO e SE</b>	
	
Planta Baixa - S/ escala	Corte – s/ escala
<b>Janela: 4,00 x 1,60 / 1,40 m – Fachadas NE e SO</b>	
	
Planta Baixa - S/ escala	Corte – s/ escala

### 3.2.1.3 Carga térmica – estudo de caso

#### i) Sistema de resfriamento

Segundo dados fornecidos pelo o Departamento de Infraestrutura e Manutenção-DIM, da Faculdade Integrada Tiradentes – UNIT, os sistemas de condicionamento de ar adotados por todas as salas de aula são do tipo *Split*, *Hiwall* e de capacidades diversas, conforme necessidade do ambiente (como listado na Tabela 36 do Apêndice A). Segundo informações do próprio departamento, os sistemas possuem filtros instalados na entrada de ar de retorno de cada unidade evaporadora, e mensalmente são realizadas manutenções como solicitado pelo PMOC (Plano de Manutenção e Operação e Controle). Já a limpeza do equipamento varia de acordo com a necessidade, podendo ser mensal ou semestralmente.

O COP - *Coefficient Of Performance*, pode ser definido para o resfriamento, segundo a ASHRAE 90.1, como a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida para um sistema completo de refrigeração ou para uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas.

As salas monitoradas (Imagens 32 a 35) têm um Coeficiente de Desempenho (COP) variando entre 2,65W/W; 2,82W/W; 2,86W/W; e 3,01W/W. A distribuição de tais Coeficientes por sala pode ser conferida no Apêndice A.

O coeficiente adotado na simulação computacional segue o padrão estabelecido pela Tabela do INMETRO (2018), na qual fica estabelecido que os aparelhos com selo A, são aqueles que possuem Coeficiente de Eficiência Energética maior que 3,23 W/W.

De acordo com o INMETRO (2018) foi possível consultar diferentes valores acima deste recomendado. Optou-se por utilizar aquele com maior COP disponível, assim adotou-se para a nova simulação um aparelho condicionador de ar com COP = 3,51W/W e COP = 3,8W/W. Além desses, de modo a aprofundar a análise quanto ao percentual de variação no consumo de energia, foi utilizado mais um (COP = 4,54 W/W), com base em Rich (2018) discutido no referencial teórico, no subitem 2.3.3.3. Assim, ficou definido:

- COP<sub>1</sub> = 3, 01 W/W (utilizado no edifício selecionado para o estudo de caso)
- COP<sub>2</sub> = 3, 5 W/W – Classificação: “A” (INMET, 2018)
- COP<sub>3</sub> = 3, 8 W/W - Classificação: “A” (INMET, 2018)
- COP<sub>4</sub> = 4, 54 W/W (RICH, 2018)

### **ii) Potências do sistema de iluminação**

A distribuição e a quantidade de luminárias e a sua potência instalada para cada sala varia entre 320 W (salas com 8 luminárias); 120W (salas com 3 luminárias); 160W (salas com 4 luminárias) e corredores internos com 880W (22 luminárias). A distribuição das potências por sala pode ser conferida no Apêndice B.

### **iii) Potências dos equipamentos instalados, por sala**

A configuração dos equipamentos elétricos para a modelagem foi baseada na situação real do estudo de caso. Foram feitos levantamentos dos equipamentos existentes em casa sala e posteriormente, no *software*, inseridas as cargas térmicas.

Todas as salas de aula possuem um computador e um *datashow*. Apenas as salas da administração não possuem o equipamento de projeção, dessa forma, as potências variaram entre 150W; 300W; 358W; 450W e 750W, dependendo da quantidade de equipamentos instalados por sala, como pode ser conferido na Tabela 38 do Apêndice C.

### **iii) Número de pessoas por sala / ambiente**

Havia variação na quantidade de pessoas por sala, o que impacta na quantidade de calor produzida. Todas as salas de aula possuem configurações para 30 e 60 alunos, além de salas do setor administrativo que variam entre 5 a 15 ocupantes; além de corredores com ocupação média de 30 alunos por hora, sendo essa uma média aproximada de usuários/h (contagem por observação) de acordo com o padrão de ocupação (*schedule*) estabelecido para o *Energy Plus*. A quantidade de pessoas por ambiente adotado na simulação, pode ser visualizada na Tabela 39 no Apêndice D.

### **iv) Temperatura definida para o sistema de ar-condicionado**

A definição da temperatura de acionamento dos aparelhos condicionadores de ar da Instituição, segue orientações do DIM- Departamento de Infraestrutura e Materiais, do Centro Universitário Tiradentes (UNIT), variando da seguinte maneira: no inverno, é utilizado a temperatura em 23°C para o *setpoint* dos sistemas condicionadores de ar e no período de verão utiliza-se o valor de 22°C. Ainda segundo esse Departamento, quando há uma mudança de clima repentina, as temperaturas são modificadas devido à alteração da temperatura externa, caso contrário, permanece constante durante todo o período de inverno ou verão.

O Departamento afirma que, devido a várias queixas dos alunos, que reclamavam de desconforto para o frio e em outros momentos para o calor, foi realizada uma revisão na operação dos equipamentos. Realizaram leituras de temperaturas em duas salas em uso diário, com ocupação em torno de 30 a 40 alunos e realizado no período de um mês. Foi observado também, pelo Departamento, que havia muita discrepância entre as sensações de alunos do período da manhã e aqueles da noite. Do experimento, percebeu-se que os alunos da manhã eram os que mais se queixavam da temperatura baixa. No entanto, a regulação das temperaturas desses sistemas somente é feita por funcionários do próprio Departamento da Instituição, sendo, portanto, considerados fixos por praticamente todo o semestre. A partir desse levantamento com alunos, puderam ser definidas as duas temperaturas de *setpoints* para os períodos de verão e inverno, 22°C e 23°C, respectivamente, não informando os valores anteriormente utilizados

É sabido que a cidade de Maceió não possui as quatro estações do ano e sim apenas duas: verão e inverno (estação chuvosa com temperaturas mais amenas) e que seu período de duração não coincide com o semestre letivo. Assim, quando o Departamento (DIM) foi questionado quanto ao período que determinavam o

acionamento da temperatura para cada semestre, a resposta não foi esclarecedora, tornando a dizer que era feita de acordo com a mudança do clima e não mais semestralmente.

Como dados de entrada para a simulação computacional, optou-se por utilizar as duas temperaturas (Tabela 23) informadas pelo Departamento, como forma de exemplificar o que ocorreu em um e em outra, de acordo com o período do ano.

**Tabela 23 – Setpoint do estudo de caso**

Período do ano	Verão	Inverno
<i>Temp. de setpoint</i>	22°C	23°C

#### v) Atividade de ocupação

As atividades desempenhadas nos ambientes de permanência prolongada geraram os valores para cargas internas. A Tabela 24 mostra as taxas metabólicas e o calor produzido por pessoa a cada atividade. A ASHRAE (2009) recomenda valores para essas taxas considerando uma área de pele média de 1,80m<sup>2</sup>.

**Tabela 24 – Taxas metabólicas**

Zona	Atividade desempenhada	Calor produzido(W/m <sup>2</sup> )	Calor produzido p/ pessoa (W)
Sala de aula	Sentado, desenhando/escrevendo	60	108
Corredor	Em pé, desenhando/escrevendo	70	126

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2009).

#### vi) Renovação de ar / taxa de infiltração/vazão nas salas e nos corredores

Como já descrito, o estudo de caso foi feito em ambientes fechados com uso exclusivo de condicionadores de ar como forma de diminuir a temperatura do ar interno. No entanto, para o *software* utilizado – *Energy Plus* – “a diferença entre infiltração e ventilação é definida pela intenção da penetração de ar exterior nas zonas térmicas”. (GOMES, 2012, p. 45). Sendo a ventilação um fluxo proposital, a infiltração é aquele não intencional, como já discutido anteriormente.

O arquivo climático utilizado na simulação pode informar a velocidade dos ventos, quando necessária. Já quanto a infiltração, segundo Gomes (2012), possui coeficientes empíricos padronizados no *Energy Plus* com valores 1, 0, 0, 0, que proporciona um fluxo de infiltração constante, modificado apenas pela rotina ( $F_{schedule}$ )

e que podem, também, ser determinados utilizando métodos contidos no *ASHRAE Handbook: Fundamentals* (2001).

vii) Adoção de tarifa energética de operação

O custo energético de operação foi baseado no desempenho energético de um determinado equipamento elétrico em kWh (quilowatt-hora) multiplicado pelo valor da tarifa energética cobrada (R\$ / kWh) e impostos que incidem sobre a mesma (NEVES, 2008).

O valor da tarifa energética considerada no estudo será aquele cobrado pela concessionária de energia elétrica da cidade de Maceió (Eletrobras – Distribuição Alagoas), de acordo com aquele registrado na conta de energia da Instituição de ensino, estudo de caso (ver Anexo 1). O valor registrado em conta foi de R\$ 0,67 / kWh.

### **3.2.1.1 Matriz de simulação**

Diante do exposto, a investigação da tese baseou-se na variação dos seguintes parâmetros: orientação, absorvância, COP, proteção solar e cobertura. A análise objetiva identificar o comportamento do consumo energético desses parâmetros diante das variações do termostato. A variação do termostato foi definida com base no intervalo de temperaturas internas registradas nos monitoramentos das variáveis ambientais.

Assim, para cada parâmetro simulado foi verificada sua eficiência para o intervalo de temperaturas de *setpoints* entre 21°C e 28°C, totalizando oito simulações por modelo mais as variações dos parâmetros (orientação, absorvância, COP, proteção solar e cobertura). Essa metodologia foi definida diante do objetivo geral da tese: “verificar o impacto da definição da temperatura interna (*setpoint*) para o conforto térmico e para o consumo energético, em ambientes condicionados situados no clima quente e úmido.”

As simulações seguiram o disposto no Quadro 8. A matriz de simulação definida foi feita para o período de um ano, de maneira a representar a real situação energética local, e seguirá o seguinte esquema:

Quadro 8 – Matriz de simulação

Modelos simulados	ORIENTAÇÃO					COP			ABSORTÂNCIA				PROTETORES			COBERTURA
	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S1
Modelo 1			✓				×			×				×		×
Modelo 2			×				✓			×				×		×
Modelo 3			×				×			✓				×		×
Modelo 4			×				×			×				✓		×
Modelo 5			×				×			×				×		✓
TOATAL	40 simulações					24 simulações			32 simulações				24 simulações			8 simulações
<b>128 SIMULAÇÕES</b>																

## **APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS**

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

---

Esta seção divide-se em três partes:

- *Seção 4.1* informa os dados que caracterizam o experimento realizado.
- *Seção 4.2* apresenta os dados obtidos nas medições realizadas, assim como valores de variáveis calculadas, seccionada em três partes: a *primeira* apresenta as variáveis ambientais monitoradas; a *segunda* parte aborda a influência das variáveis pessoais ou psicofisiológicas e, por fim, a *terceira* parte trata das respostas dadas pelos usuários.

Esta análise baseou-se no primeiro dos objetivos específicos que se caracterizou por: *Examinar eventuais discrepâncias existentes entre a sensação de conforto térmico prevista pelas normas e a bioclimatologia, e a real percepção dos usuários locais em relação à definição de temperaturas por sistemas condicionadores de ar.*

Para isso, foram utilizados dados de medições de variáveis ambientais, as quais foram realizadas nos meses de fevereiro e parte do mês de março<sup>13</sup>, meses que configuram dias típicos de verão na cidade de Maceió/AL.

- *Seção 4.3* trata dos resultados para investigar a segunda e terceira proposições dos objetivos específicos, que foram descritos por: *Identificar o impacto econômico da definição do setpoint para o ar-condicionado em diferentes configurações de edifícios escolares no que se refere à orientação; cor das superfícies externas da envoltória, cobertura opaca e emprego de proteção solar; e Examinar a diferença significativa no consumo de energia quando se altera a potência do condicionador de ar.*

Assim, seguindo a matriz montada no item anterior, da Metodologia (Tabela 25), a apresentação dos resultados segue a seguinte disposição para a edificação modelada:

- A *seção 4.3.1* – mantêm **fixos todos os dados do estudo de caso: setpoint<sup>14</sup>, COP, absorvância e orientação**. Posteriormente simula para cada temperatura do intervalo de 21°C a 28°C a influência no consumo de energia pela **orientação geográfica**.
- A *seção 4.3.2* – a partir da simulação dos dados fixos, compara-os com mudanças no **COP**.

<sup>13</sup>Interrompido pelo isolamento social causado pela pandemia do COVID-19.

<sup>14</sup> Entendendo “setpoint fixo”: temperatura de *setpoint* adotada dentro do intervalo de temperaturas registradas (21°C a 28°C) nas medições das variáveis ambientais.

→ A seção 4.3.3 – a partir da simulação dos dados fixos, compara-os com mudanças na **absortância**.

→ A seção 4.3.4 – a partir da simulação dos dados fixos, compara-os com a mudança na **cobertura translúcida substituindo pela opaca**.

→ A seção 4.3.5 – a partir da simulação dos dados fixos, compara-os com mudanças na **inserção de protetores solares nas aberturas**.

Sob essa caracterização, montou-se a matriz de simulação que utilizou os seguintes valores para o *setpoint*, COP, Orientação, absortância e proteção solar (Tabela 25):

**Tabela 25 – Valores numéricos para os parâmetros simulados**

PARÂMETROS FIXOS	VALORES
<i>Setpoint</i>	21°C; 22°C; 23°C; 24°C; 25°C; 26°C; 27°C e 28°C.
COP	<b>3,01W/W</b> ; 3,5W/W; 3,8W/W e 4,54W/W.
Orientação	<b>9°</b> ; 0°; 45°(1); 45°(2) e 90°.
Absortância	<b>50,21</b> ; 15, 8; 36,2; 0,6; e 79,9.
Cobertura	Translúcida e opaca

#### 4.1 Caracterização do experimento

Nesta seção estão dispostos os resultados da pesquisa composta de 16 monitoramentos que aconteceram entre os dias 03/02 e 12/03/2020.

##### 4.1.1 Monitoramentos

Cada dia de medição, chamado aqui de “monitoramento”, foi realizado em salas de aula no período equivalente a primeira delas, no período da manhã, com duração de 1h40min. Um período de monitoramento foi composto de cinco momentos de medição das variáveis ambientais concomitantemente a resposta aos questionários pelos alunos, obedecendo sempre um intervalos de 20min entre uma e outra. A Tabela 26 é composta pelos dados que informam a frequência e a quantidade de dados oriundos de cada medição.

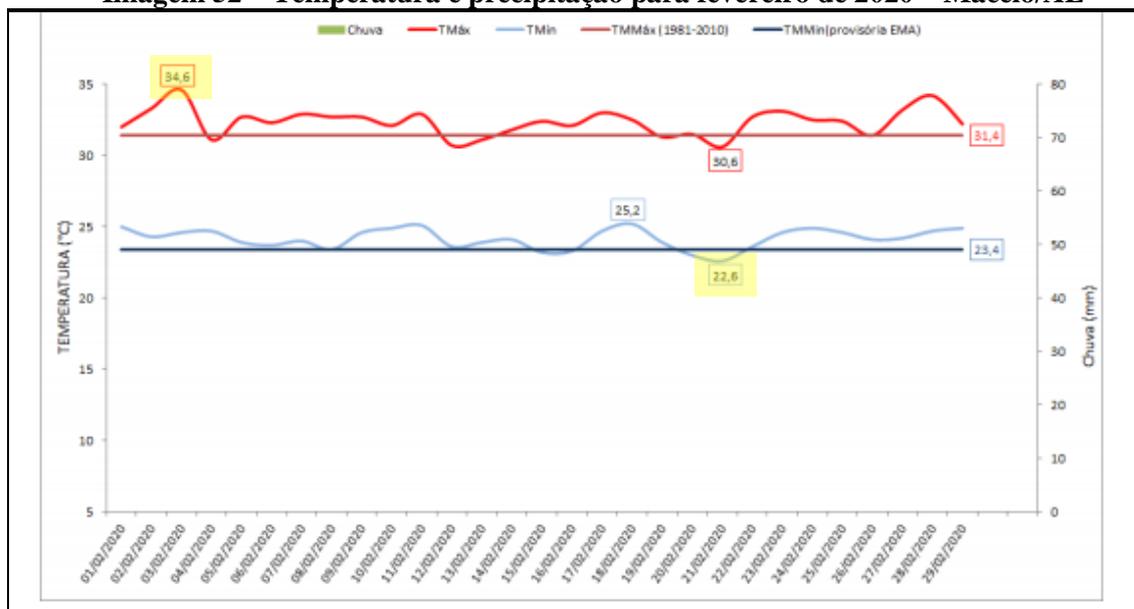
Tabela 26 – Dados registrados durante o período de medição

	Monitoramentos	Semana	Data	Período (h) <sup>15</sup>	Indivíduos	Votos
FEVEREIRO	1	1	03/02/2020	08:55/10:40	20	100
	2	1	04/02/2020	08:55/10:40	14	70
	3	1	05/02/2020	08:55/10:40	15	75
	4	2	10/02/2020	08:55/10:40	24	120
	5	2	11/02/2020	08:55/10:40	15	75
	6	2	12/02/2020	08:55/10:40	21	105
	7	2	13/02/2020	08:55/10:40	36	180
	8	3	17/02/2020	08:55/10:40	18	90
	9	3	18/02/2020	08:55/10:40	16	80
	10	3	19/02/2020	08:55/10:40	19	95
	11	3	20/02/2020	08:55/10:40	12	60
MARÇO	12	4	04/03/2020	08:55/10:40	24	120
	13	4	04/03/2020	08:55/10:40	25	125
	14	4	05/03/2020	08:55/10:40	7	35
	15	5	10/03/2020	08:55/10:40	15	75
	16	5	12/03/2020	08:55/10:40	14	70
<b>Total</b>					<b>295</b>	<b>1.475</b>

#### 4.1.2 Condições climáticas registradas pelo INMET

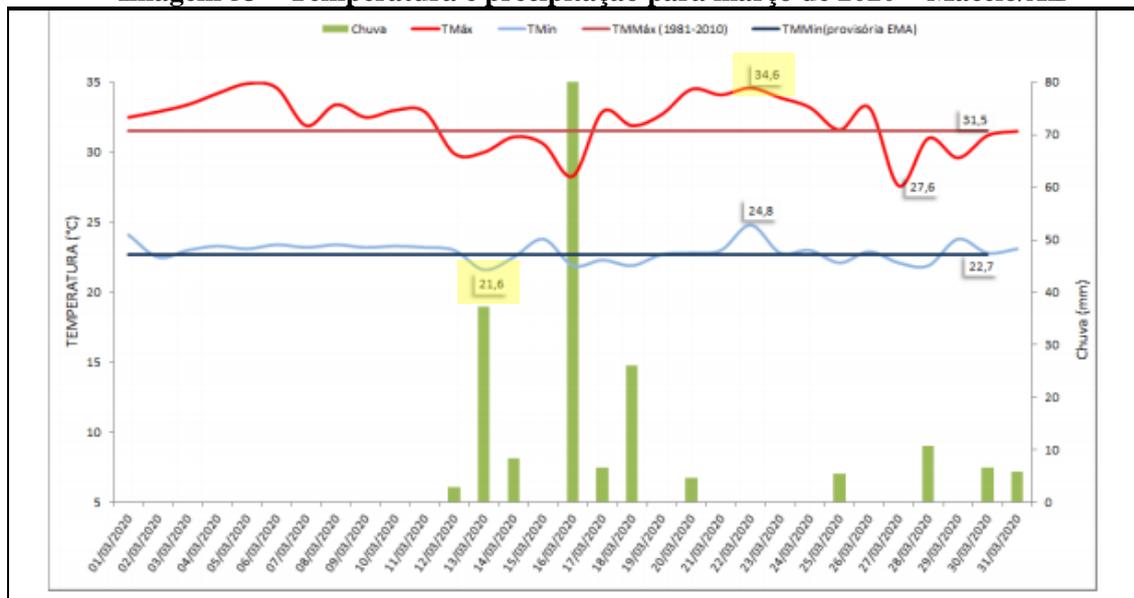
Como já citado, as medições foram feitas nos meses de fevereiro e março de 2020. Nesse período, os dados meteorológicos divulgados pelo INMET (2020), mostraram as seguintes condições de tempo para Maceió (Imagem 52 e 53).

Imagem 52 – Temperatura e precipitação para fevereiro de 2020 – Maceió/AL



Fonte: Balanço\_Condições\_Tempo\_Nordeste – INMET (2020).

<sup>15</sup>As medições tinham início sempre às 9h15min, respeitando os 20min de aclimação dos alunos, e repetia-se sequencialmente às 9h15min; 9h35min; 9h35min; 10h15min; e 10h35min.

**Imagem 53 – Temperatura e precipitação para março de 2020 – Maceió/AL**

Fonte: Balanço\_Condições\_Tempo\_Nordeste – INMET (2020).

Os registros mostram para o mês de fevereiro, que a temperatura mínima registrada foi de 22,6°C, no dia 21/02, enquanto a temperatura máxima aconteceu no dia 03/02 atingindo 34,6°C. Já no mês de março, a temperatura mínima foi de 21,6°C para o dia 13/03, enquanto a temperatura máxima registrou 34,9°C, no dia 05/03.

#### 4.1.3 Variáveis ambientais monitoradas

Um período de monitoramento foi composto de cinco momentos de medição com a pesquisa de opinião junto aos usuários dos ambientes de salas de aula realizada simultaneamente às medições das variáveis físico-ambientais e as respostas dos indivíduos, baseadas na sensação térmica no momento da medição. As respostas obedeceram sempre a um intervalo de 20 minutos entre uma e outra, além do período de aclimação recomendada pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2010) de 20 minutos. A Tabela 27 é composta pelos dados ambientais monitorados no período, com destaque para os valores máximo e mínimo para cada variável.

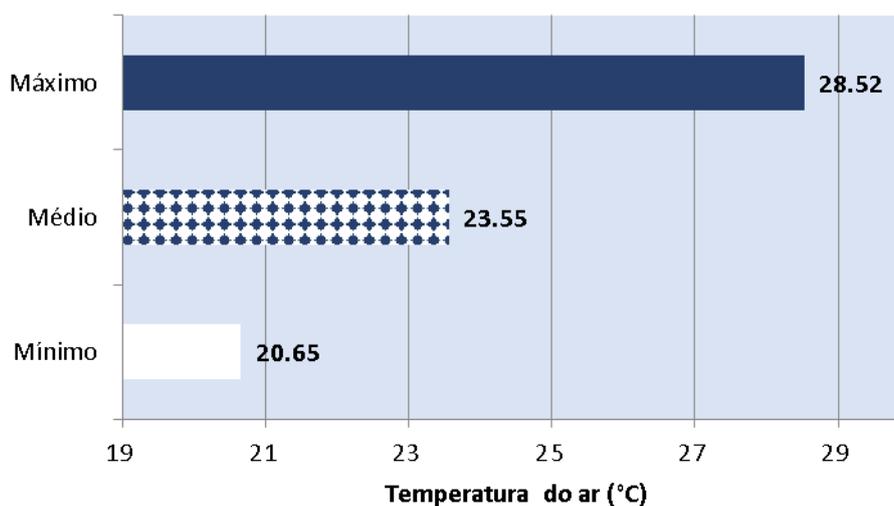
Tabela 27 – Dados ambientais monitorados

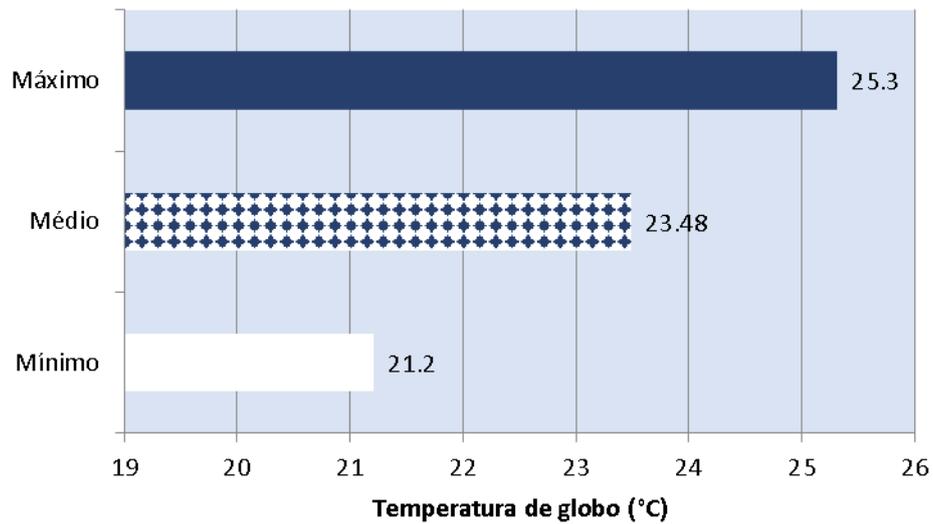
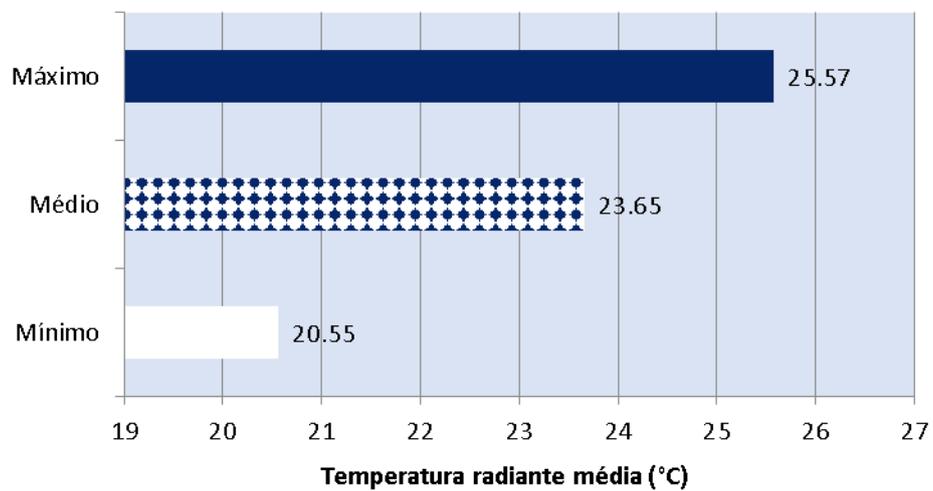
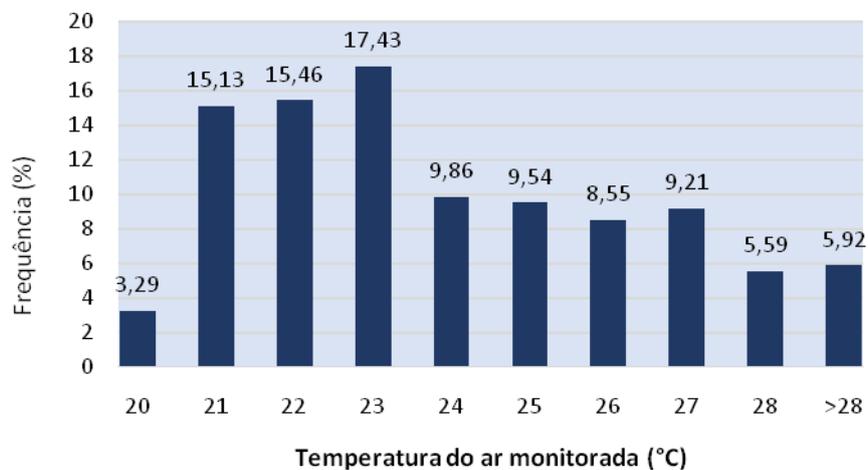
Medição	TBS (°C)	Umidade (%)	Temp. Globo (°C)	Tr (°C)	To (°C)	V <sub>Ar</sub> (m/s)
1	20,65	45,17	22,80	<b>25,57</b>	23,90	0,36
2	27,12	53	25,10	22,66	24,45	0,32
3	21,13	41,26	22,50	24,29	23,02	0,36
4	<b>20,08</b>	45	22,90	26,52	23,94	0,36
5	25,66	45	25,20	24,64	25,05	0,33
6	22,26	43	22,40	22,59	22,46	0,36
7	24,74	45	25	24,64	<b>25,11</b>	<b>0,39</b>
8	22,43	45,12	23,20	24,20	23,49	0,36
9	27,00	<b>37,72</b>	<b>25,30</b>	25,30	24,73	0,33
10	22,43	48,01	23,20	24,26	23,46	0,33
11	23,77	42,56	21,90	21,90	22,65	<b>0</b>
12	22,90	45,79	22,90	22,90	22,90	0,32
13	21,27	48,34	22,90	24,86	23,43	0,32
14	22,56	43,41	<b>21,20</b>	21,20	<b>21,75</b>	<b>0</b>
15	<b>28,52</b>	40,33	25,30	<b>20,55</b>	23,74	0,44
16	23,88	<b>63,69</b>	23,80	23,74	23,80	0,13

De forma a reconhecer os valores mínimos, médios e máximos das variáveis ambientais monitoradas, os dados foram trabalhados e formatados a partir da distribuição e frequência dos mesmos, através de histogramas. As Imagens 54 a 60, mostram esses gráficos (temperatura do ar, temperatura de globo, temperatura radiante média e umidade do ar), com referência a valores mínimos, médios e máximos.

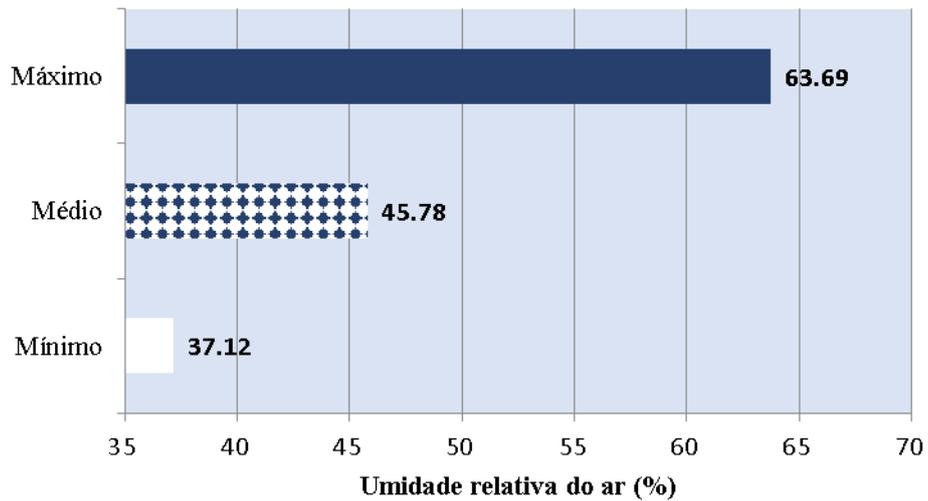
Os valores referentes à temperatura radiante média foram obtidos através do cruzamento de dados das medições da temperatura do ar e da temperatura de globo calculados através da Equação 02, apresentada no item 2.1.1, do Referencial Teórico.

Imagem 54 – Gráfico da temperatura do ar monitorada

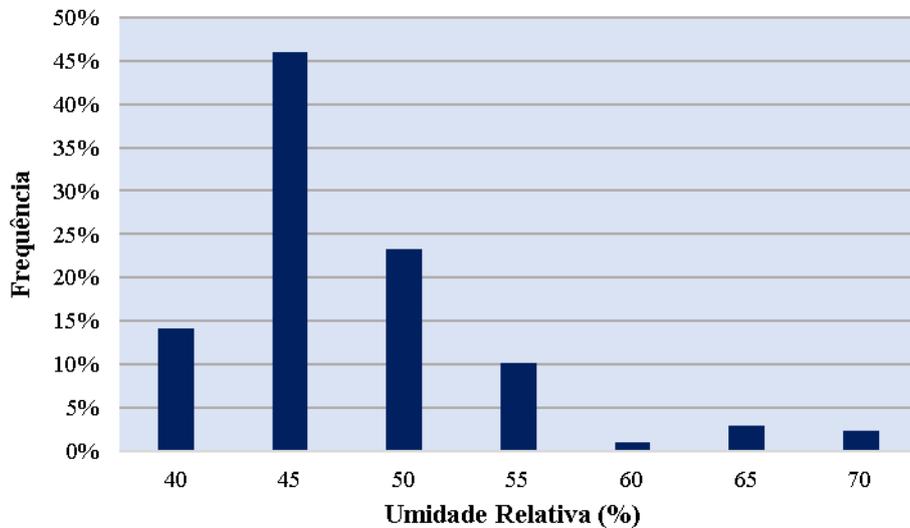


**Imagem 55 – Gráfico da temperatura de globo monitorada****Imagem 56 – Gráfico da temperatura radiante média****Imagem 57 – Gráfico da frequência da temperatura do ar monitorada**

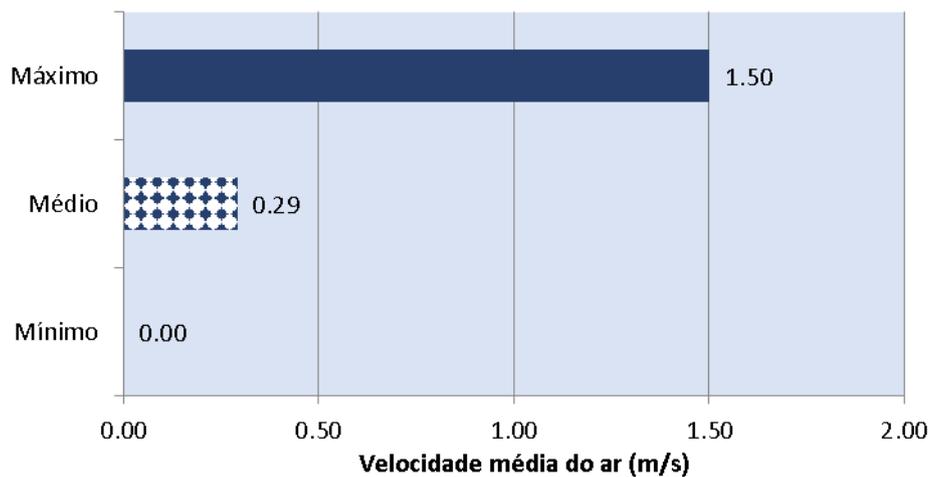
**Imagem 58 – Gráfico da umidade relativa do ar monitorada**



**Imagem 59 – Gráfico da frequência da umidade do ar monitorada**

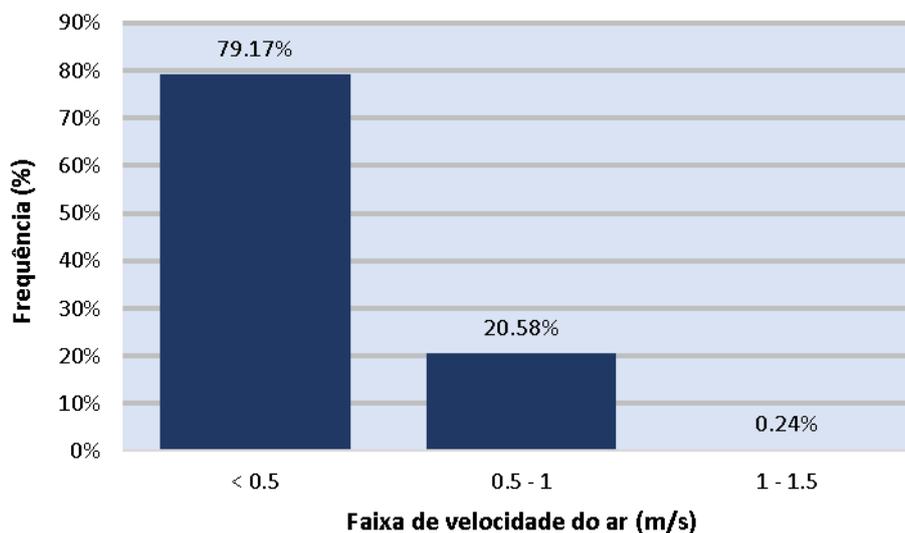


**Imagem 60 – Gráfico da velocidade do ar monitorada**



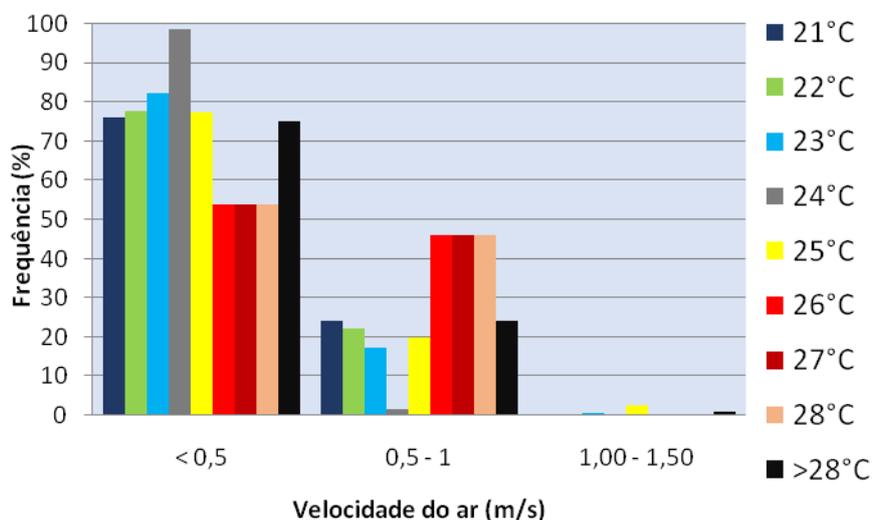
A variação da velocidade do ar pode ser também ilustrada sob o ponto de vista da frequência de ocorrência dos valores numéricos registrados. Os valores foram separados por três faixas de velocidades, adotando valores inferiores a 0,5m/s até assumir valor máximo de 1,5m/s (medido). Através do gráfico da Imagem 61, observa-se que os valores mais constantes nos ambientes monitorados são os inferiores a 0,5m/s, com 79,17% de ocorrência.

**Imagem 61 – Gráfico da frequência da velocidade do ar monitorada**



No gráfico da Imagem 62, mostra-se a frequência dos valores da velocidade do ar, de acordo com o intervalo estabelecido entre as temperaturas do ar registradas.

**Imagem 62 – Gráfico da frequência da velocidade do ar pela temperatura**



O gráfico da Imagem 63 mostra a faixa de velocidade do ar monitorado para as faixas de temperatura registradas. Vê-se que as faixas de velocidade do ar menores que 0,5 tiveram registros de temperatura do ar variando entre 21°C a 28°C, com predominância para a temperatura em torno de 24° e posteriormente para as faixas próximas a 21°C, 22°C, 23°C e 25°C.

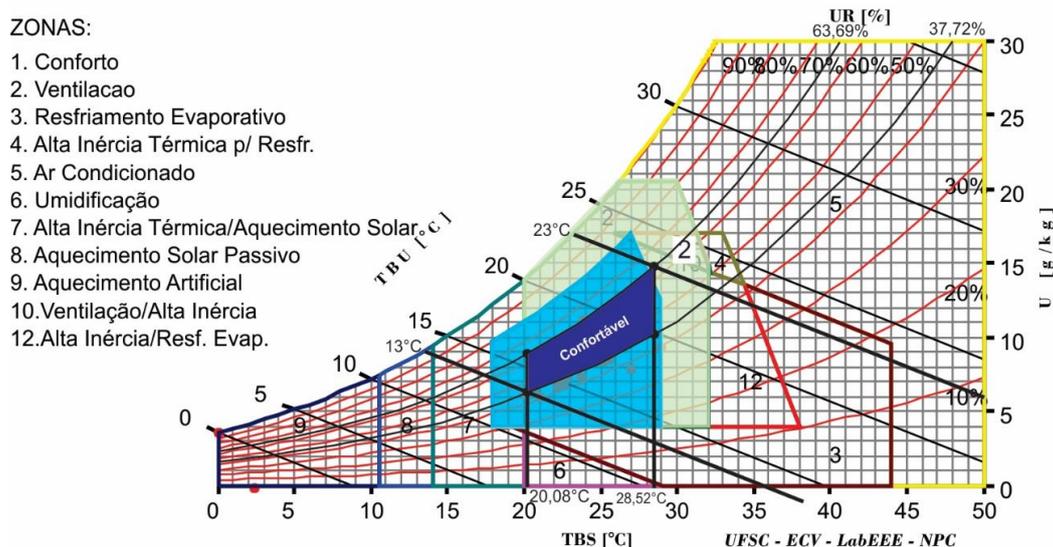
A Tabela 28 apresenta a média das velocidades ao ar medidas nos pontos distribuídos pela sala e apresentados nas Imagens 63 a 66 no item 3.1.3. Vale ressaltar, novamente, que em apenas uma região (demonstrada aqui como um único ponto) foi sentido o movimento ar pelos usuários, nos demais, a velocidade nem foi sentida pelos usuários e ao medi-la o registro foi de calma com valores predominantes iguais a zero.

**Tabela 28 – Valores das velocidades do ar em P1, P2, P3 e P4 para as salas monitoradas**

		Monitoramentos															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P1		0,72	0,65	0,72	0,72	0,65	0,72	0	0,72	0,65	0,66	0	0,63	0,64	0	0,87	0,27
P2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3		0	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4		0	-	0	0	-	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Para uma melhor visualização e utilização dos dados colhidos nas pesquisas de campo, optou-se por apresentar os parâmetros de conforto térmico para as variáveis constantes do diagrama psicrométrico através do programa AnalysisBio (2010) (Imagem 63 – Polígono resultante das variáveis ambientais estudadas).

**Imagem 63 – Polígono resultante das variáveis ambientais estudadas**



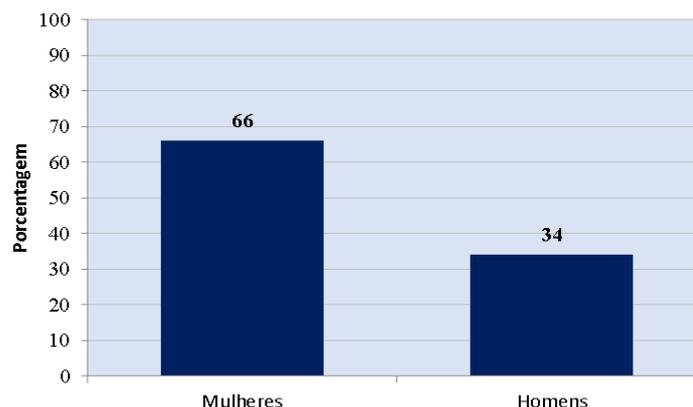
Fonte: Adaptado de Analysis Bio (2010).

#### 4.1.4 Perfil dos usuários definido pelas variáveis pessoais ou psicofisiológicas

A partir da coleta de dados quanto as informações pessoais, foi possível a distribuição dos dados de acordo com gênero, idade, peso e altura. A intenção foi de traçar o perfil dos usuários da pesquisa e analisar se houve influência de tais variáveis para a sensação de conforto preferida entre homens e mulheres, discutida no item 2.1.1 da Revisão Bibliográfica.

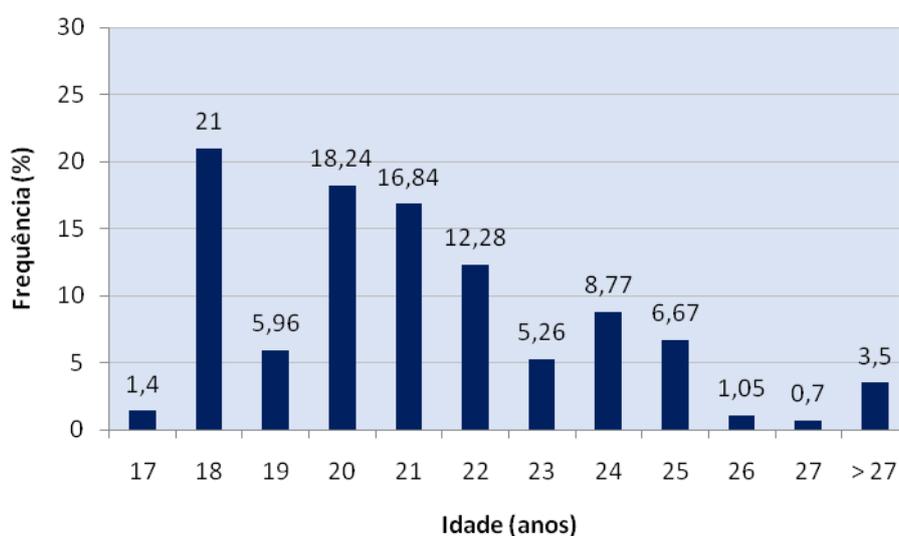
Através dos registros, foi possível identificar um perfil dos usuários entrevistados durante o monitoramento, o que demonstrou uma não uniformidade na distribuição entre homens e mulheres, com percentuais de 34% e 66%, respectivamente (Imagem 64). No entanto, pela análise realizada para verificar a disparidade de preferências entre homens e mulheres, foi concluída que esta não apresentou resultados relevantes.

**Imagem 64 – Gráfico da distribuição do gênero dos usuários pesquisados**

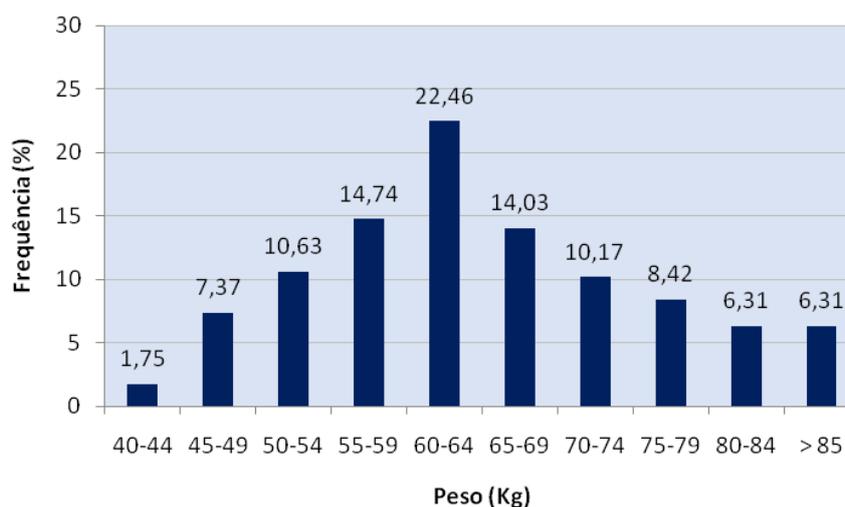


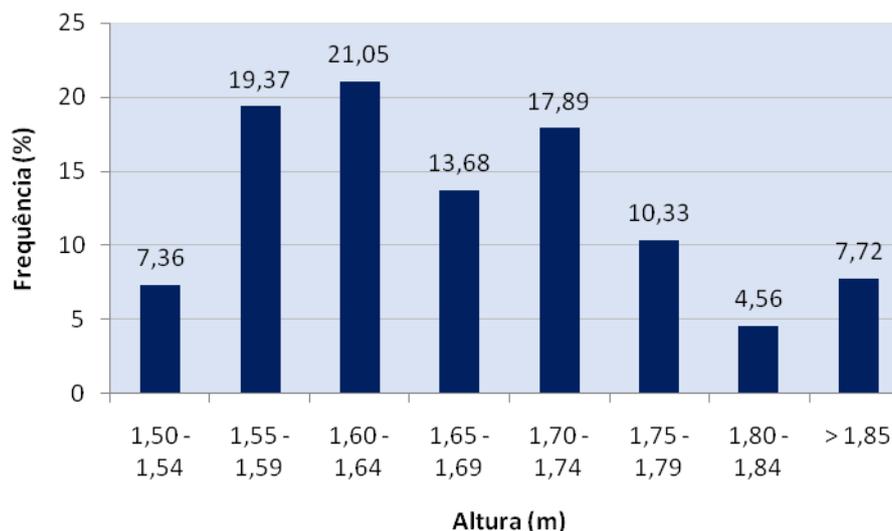
Para a idade dos usuários obteve-se uma variação entre 17 anos e 27 anos, no entanto com uma maior frequência nas idades entre 18 anos e 20 anos (Imagem 65). Para os dados referentes a peso e altura percebeu-se uma frequência que variou de 55kG a 69Kg (Imagem 66). Quanto a variação referente à altura dos usuários, a frequência foi entre 1,55m e 1,64m e depois de 1,70m a 1,74m (Imagem 67). Quanto à vestimenta utilizada, foi considerado pequeno o número de usuários com variação significativa dentre os demais, sendo a principal modificação a inclusão de uma peça de jaqueta ou casaco por eles. A discriminação do cálculo resultante das vestimentas se encontra no Apêndice E, e obteve valor predominante de 0,5clo. Quanto as atividades desenvolvidas em sala de aula pelos alunos, as mesmas variavam entre sentado, sentado desenhando, sentado, em pé ou andando. A atividade predominante foi a de *sentado desenhando*, com taxa metabólica igual a 1.

**Imagem 65 – Gráfico da distribuição da idade dos usuários pesquisados**



**Imagem 66 – Gráfico da distribuição do peso dos usuários pesquisados**



**Imagem 67 – Gráfico da distribuição da altura dos usuários pesquisados**

Assim, resume-se o perfil dos usuários que participaram dos monitoramentos, pelas maiores porcentagens registradas (Tabela 29):

**Tabela 29 - Perfil resumo dos usuários entrevistados**

	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão <sup>16</sup>
<b>Idade</b>	17	32	24	4,91
<b>Peso (Kg)</b>	43	130	70	9,0
<b>Altura (m)</b>	1,50	1,87	1,68	0,31

## 4.2 Análise das sensações previstas

Com base nos dados monitorados e nas respostas colhidas através da aplicação dos questionários em salas de aula condicionadas artificialmente, será analisada aqui a real sensação/percepção dos usuários locais e as sensações de conforto térmico previstas pelas normas e a bioclimatologia, como prevê o estudo nos objetivos específicos.

O objetivo com esta proposição de estudo é conhecer as sensações estimadas para um intervalo de temperatura, as quais serão posteriormente analisadas quanto a sua eficiência no consumo energético. Assim, seguem-se as análises.

### 4.2.1 Análise com base no modelo PMV – PPD

Como já discutido anteriormente, este é um método que estima o grau de (des) conforto térmico preferido pela maioria das pessoas. Por ser ainda considerado parâmetro para normas internacionais para ambientes condicionados artificialmente e

<sup>16</sup> O desvio padrão indica quanto um conjunto de dados é uniforme. Quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo são os dados.

recomendado pela ABNT CB-55: 2017 (ABNT, 2019), foi adotado como parâmetro para o estudo.

Para analisar as respostas conforme os requisitos sugeridos pela ABNT CB-55: 2017 (ABNT, 2019), foram calculados 16 resultados para o PMV e PPD que correspondem aos monitoramentos realizados. De modo a simplificar a apresentação dos resultados os dados utilizados em planilha de cálculo são referentes às médias dos períodos, como mostra a Tabela 30.

**Tabela 30 – Planilha para cálculo do PMV e PPD**

Medição	TBS (°C)	Tr (°C)	V <sub>Ar</sub> (m/s)	Umidade (%)	Taxa metabólica	Clothing (Clo)
1	20,65	<b>25,57</b>	0,36	45,17	1.2	0.51
2	27,12	22,66	0,32	53	1.2	0.51
3	21,13	24,29	0,36	41,26	1.2	0.51
4	20,08	26,52	0,36	45	1.2	0.51
5	25,66	24,64	0,33	45	1.2	0.51
6	22,26	22,59	0,36	43	1.2	0.51
7	24,74	24,64	0,39	45	1.2	0.51
8	22,43	24,20	0,36	45,12	1.2	0.51
9	27,00	25,30	0,33	37,72	1.2	0.51
10	22,43	24,26	0,33	48,01	1.2	0.51
11	23,77	21,90	0	42,56	1.2	0.51
12	22,90	22,90	0,32	45,79	1.2	0.51
13	21,27	24,86	0,32	48,34	1.2	0.51
14	22,56	21,20	0	43,41	1.2	0.51
15	28,52	20,55	0,44	40,33	1.2	0.51
16	23,88	23,74	0,13	63,69	1.2	0.51

No entanto, é válido ressaltar que, de acordo com ANSI/ASHRAE STANDARD 55 (ASHRAE, 2017) e pela proposta para a Norma ABNT CB-55: 2017 (ABNT, 2017), o método do PMV só deve ser adotado para situações onde a velocidade do ar limita-se a 0,2 m/s. Para situações onde a velocidade ultrapasse esse valor, deve-se utilizar o modelo da Temperatura Efetiva Padrão (SET) para a referida análise do conforto térmico. Assim, em destaque na Tabela 31 nas cores azul, verde e laranja, os períodos que foram validados para este método. O cálculo para os valores do PMV e PPD foi feito através da planilha eletrônica desenvolvida por *Comfort Tool TB* (2020) da *University of Sydney* criada com base no algoritmo e nas equações de troca de calor apresentadas no Anexo D da ISSO 7730 (2005). Assim, de acordo com o método adotado, a média de votos para o período monitorado indica índice de PMV.

Os monitoramentos 11 e 14 registraram períodos de calma e velocidade média do ar igual a 0m/s; para o monitoramento 16 a velocidade média do período foi de 0,13 m/s. Dessa forma, tem-se os seguintes valores para o PMV e PPD, calculados através da

planilha eletrônica desenvolvida pelo *Comfort Tool TB* (2020) e indicados em Tabela 31.

**Tabela 31 – Dados de PMV e PPD calculados**

	TBS (°C)	Tr (°C)	Vel ar (m/s)	UR (%)	Atividade (met)	Vestimenta (clo)	PMV	PPD	
Monitoramentos	1	20.65	25.57	0.36	45.17	1.2	0.51	-1.51	51.2
	2	27.12	22.66	0.32	53	1.2	0.51	-0.32	7.1
	3	21.13	24.29	0.36	41.26	1.2	0.51	-1.53	52.4
	4	20.08	26.52	0.36	45	1.2	0.51	-1.55	53.5
	5	25.66	24.64	0.33	45	1.2	0.51	-0.46	9.5
	6	22.26	22.59	0.36	43	1.2	0.51	-1.42	46.6
	7	24.74	25.35	0.39	45	1.2	0.51	-0.65	13.8
	8	22.43	24.2	0.36	45.12	1.2	0.51	-1.21	35.7
	9	27	23.22	0.33	37.72	1.2	0.51	-0.41	8.4
	10	22.43	24.25	0.33	48.01	1.2	0.51	-1.15	32.9
	11	23.77	21.9	0	42.56	1.2	0.51	-0.54	11
	12	22.9	22.9	0.32	45.79	1.2	0.51	-1.14	32.6
	13	21.27	24.86	0.32	48.34	1.2	0.51	-1.32	41.3
	14	22.56	21.2	0	43.41	1.2	0.51	-0.83	19.5
	15	28.52	20.55	0.44	40.33	1.2	0.51	-0.45	9.2
	16	23.88	23.74	0.13	63.69	1.2	0.51	-0.42	8.7

Fonte: Dados ambientais coletados e PMV e PPD calculados pelo *Comfort Tool TB* (2020).

Seguindo a análise com base na escala de sensações apresentadas na Tabela 5 e no gráfico da Imagem 1, os valores de PMV-PPD foram plotados na curva da escala de sensações de Fanger. Aqueles votos registrados para velocidades do ar acima de 0,2m/s foram posteriormente tratados pela necessidade de ajuste justificada por tal velocidade do ar e apresentados em item subsequente.

De acordo com o Método Estático para a avaliação do conforto térmico desta proposição, houve conforto para ambientes com condições térmicas semelhantes ao monitoramento 16, ou seja, valores em torno de 24°C para TBS e Tr, 0,13 m/s para  $V_{ar}$ , e 63% para UR (Imagem 59). Para as demais situações (monitoramentos 11 e 14), conclui-se desconforto para o frio nos monitoramentos 11 e 14, sendo o mais representativo para esse desconforto o monitoramento 14, com PPD = 19,5% e PMV = -0,83.

#### 4.2.2 Modelo da temperatura efetiva padrão

Conforme mencionado, o método do PMV foi utilizado para os períodos de monitoramento com velocidades do ar inferiores a 0,20m/s, seguindo as recomendações da ANSI/ASHRAE STANDARD 55 (ASHRAE, 2017) e pela Norma ABNT CB-55: 2017 (ABNT, 2017). Para medições nas quais os valores das velocidades do ar

ultrapassam esse valor, indica-se o uso do modelo de Temperatura Efetiva Padrão (SET) para que sejam concluídas as análises das condições térmicas do ambiente. Níveis de velocidade superiores a 0,2 m/s foram encontrados em cerca de 90% dos períodos monitorados (Tabela 32). A Norma estabelece que sejam feitos ajustes na temperatura do ar que ajustará, consequentemente, a temperatura radiante média do ar em repouso através do índice SET.

**Tabela 32 – Variáveis medidas por período monitorado, ajustadas**

		<b>TBS (°C) Ajust.</b>	<b>Tr (°C) Ajust.</b>	<b>Vel ar (m/s) Ajust.</b>	<b>UR (%)</b>	<b>T<sub>o</sub> Ajust.</b>	<b>Atividade (met)</b>	<b>Vestimenta (clo)</b>	<b>PMV</b>	<b>PPD</b>
<b>Monitoramentos</b>	1	17.6	29.38	0.10	45.17	15.19	1.2	0.51	-0.8	18.5
	2	23.4	27.1	0.10	53	14.05	1.2	0.51	0.05	5
	3	18.1	28.11	0.10	41.26	14.56	1.2	0.51	-0.91	22.5
	4	17.2	30.08	0.10	45	15.54	1.2	0.51	-0.77	17.5
	5	21.8	29.24	0.10	45	15.12	1.2	0.51	-0.09	5.2
	6	19	26.77	0.10	43	13.89	1.2	0.51	-0.93	23.3
	7	21	30.23	0.10	45	15.62	1.2	0.51	-0.09	5.2
	8	19.4	28.03	0.10	45.12	14.54	1.2	0.51	-0.67	14.4
	9	22.1	29.1	0.10	37.72	15.05	1.2	0.51	-0.1	5.2
	10	19.5	27.67	0.10	48.01	14.34	1.2	0.51	-0.69	15.1
	11	23.77	21.9	0	42.56		1.2	0.51	-0.54	11
	12	19.5	26.96	0.10	45.79	13.98	1.2	0.51	-0.8	18.6
	13	18.6	28	0.10	48.34	14.50	1.2	0.51	-0.8	18.6
	14	22.56	21.2	0	43.41		1.2	0.51	-0.83	19.5
	15	19.5	21.2	0.10	40.33	11.10	1.2	0.51	-1.58	55.5
	16	23.88	23.74	0.13	63.69		1.2	0.51	-0.42	8.7

Para esses dados a análise da Tabela 33 indica que os monitoramentos 1, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 13 e 15 foram aqueles indicados como desconfortáveis para uma parcela dos usuários, entre 14% e 23%, como maior representatividade para o monitoramento 15 com cerca de 55% dos usuários desconfortáveis para o frio.

#### 4.2.3 Respostas dos usuários

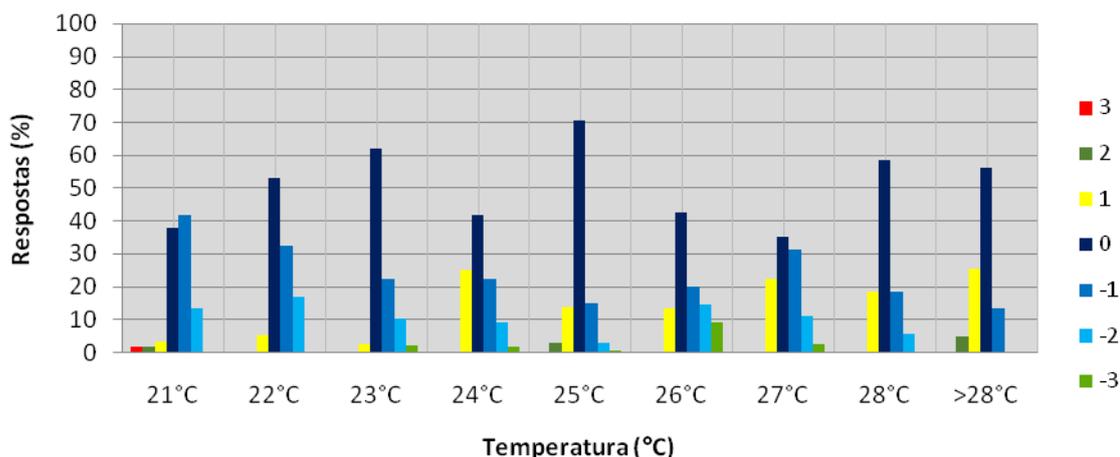
Os 295 usuários responderam aos questionários e estes foram relacionados com a temperatura do ar. Para isso foi utilizado o intervalo de temperatura compreendido entre a mínima e máxima registrada nas medições, variando entre 21°C e 28°C.

### 4.2.3.1 Sensação térmica

O questionário de conforto e aceitabilidade térmica aplicado inicia com a pergunta quanto à sensação térmica. A pergunta “*Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo neste momento?*”, utilizou como opções de respostas uma escala baseada na escala térmica de Fanger (1970) – Tabela 5, que varia de - 3 a 3, compreendendo as seguintes alternativas: *com muito frio, com frio, levemente com frio, neutro, levemente com calor, com calor, com muito calor*.

Os entrevistados indicaram sensação *neutra* como predominante em quase todos os dias de monitoramento para os 7 intervalos de temperatura considerados, exceto para a temperatura de 21°C, no qual a maioria indicou leve desconforto para o frio (Imagem 68).

**Imagem 68 – Gráfico da sensação térmica dos usuários em relação à temperatura do ar**



Com base nos valores apresentados em *Sensação térmica dos usuários em relação à temperatura do ar*, a Imagem 69 mostra que para as temperaturas de 21°C a 28°C houve, além daqueles que relataram sentirem-se confortáveis, sensação de leve desconforto para o frio para as temperaturas de 22°C (32,63%), 23°C (22,44%), 24°C (22,5%) e 27°C (31,25%) e, ainda, 17% com sensação de *frio* para a temperatura de 23°C (9,33%).

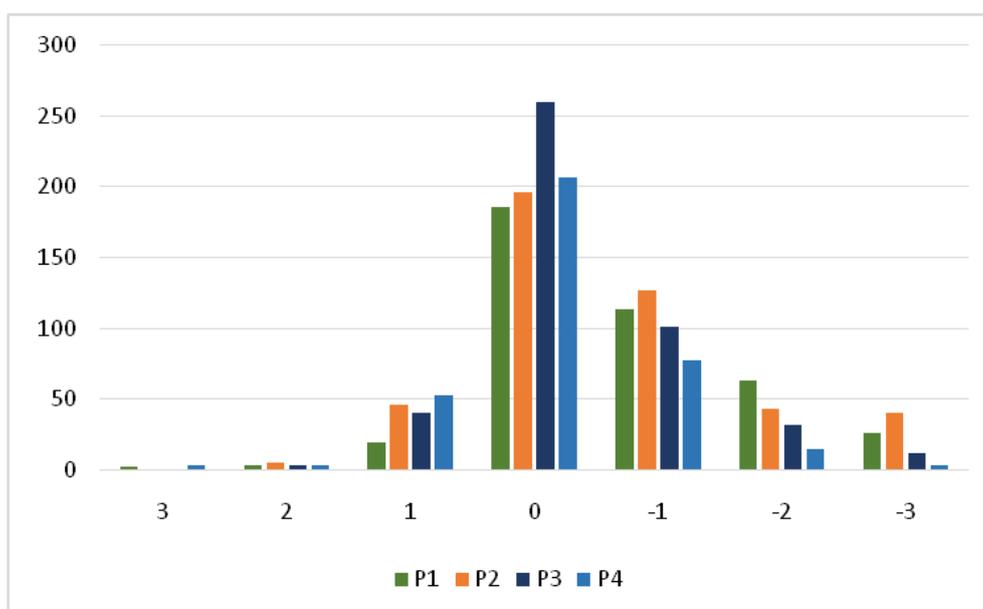
A temperatura de 25°C foi aquela com maior percentual de entrevistados indicando sensação de neutralidade térmica, seguido pelas temperaturas de 23°C e 28,52°C, no entanto, chama a atenção o indicativo de sensação neutra para a temperatura de 28,52°C, que pode ser justificada pela influência da umidade relativa e da velocidade do ar, como mostra a Tabela 33.

**Tabela 33 – Dados ambientais para as temperaturas 20,65°C e 28,52°C**

Medição	TBS (°C)	Umidade (%)	Temp. Globo (°C)	Tr (°C)	To (°C)	V <sub>Ar</sub> (m/s)
1	20,65	45,17	22,80	25,57	23,90	0,36
15	28,52	40,33	25,30	20,55	23,74	0,44

Nesses dados, extraído da Tabela 33 atenta-se para uma curiosidade: os extremos para máximo e mínimo para foram registrados para a temperatura de bulbo seco em 20,65°C e 28,52, respectivamente. A temperatura radiante média é “a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação do corpo é igual à troca de calor por radiação num ambiente não uniforme”, e seu cálculo depende da temperatura de globo, velocidade do ar e temperatura do ar. Sabendo-se que as trocas de calor são influenciadas pelas correntes de ar, observou-se o maior registro da velocidade do ar para a temperatura de 28,52°C e menor umidade relativa.

Com a medição da velocidade do ar feita em diferentes pontos da sala de aula, de acordo com a distribuição espontânea dos usuários pelos ambientes, relata-se na Tabela 34 a sensação dos usuários em função da variável velocidade do ar. A Tabela faz referência à sensação térmica avaliada pela escala térmica de Fanger, resultante do estudo diferenciado pelos pontos distribuídos nas salas monitoradas e a Imagem 69 demonstra a frequência da sensação relatada pelos ocupantes das salas por ponto.

**Imagem 69 – Frequência da sensação térmica por ponto na sala**

O Gráfico (Imagem 70) indica que para todos os pontos foram maiores os registros de desconforto para o frio que para o calor, em todo período monitorado. Com base na Tabela 34 é possível relacionar o ponto de medição ao grau de satisfação ou desconforto em cada ponto para monitoramento efetuado.

Tabela 34– Escala de sensações para os diferentes pontos nos ambientes monitorados

		PMV (%) monitorado															
		Monitoramentos															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P1		—	—	—	—	—	—	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	2,8	—	—	—	—	6,6	—	—	2,1	—	—	—	—	7,1	
		—	28,5	—	4,1	2,6	13,3	55	11,1	2,5	13,6	14	0,8	8,7	—	20	14,2
		6	14,2	—	5,8	17,3	1,9	16,6	—	10	7,36	4	4,8	4,3	14,8	6,6	—
		9	4,2	—	6,6	10,6	1,9	—	—	10	8,42	12	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	9,3	1,9	—	—	2,5	—	10	2,4	—	—	—	—
P2		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—	1,3	—
		—	—	—	—	12	0,9	13,3	—	3,7	—	—	—	2,6	—	13,3	—
		9	—	4	8,3	14,6	4,7	34,1	—	10	15,7	18	10,4	6	22,8	24	14,2
		9	—	13,3	15,8	5,3	3,8	5	—	5	—	12	8	8,7	25,7	—	14,8
		2	—	9,3	4,1	1,3	—	3,3	—	—	—	—	8	8,7	8,5	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	—
P3		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,6	—
		4	—	1,3	—	1,3	5,7	2,5	1,11	7,5	—	—	—	4,3	—	12	—
		23	—	30,6	12,5	22,6	25,7	20	32,2	8,7	25,2	—	20,8	19,1	—	20	—
		8	—	20	4,1	—	0,9	5	5,3	2,5	11,5	20	11,2	7	5,7	—	—
		—	—	1,3	—	—	5,7	3,3	—	—	—	10	—	—	11,4	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,4	—	—
P4		—	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	3,3	—	1,9	3,3	3,3	10	—	—	—	0,8	—	—	30
		14	—	9,3	13,5	—	22,8	20	43,3	12,5	6,31	—	24	29,5	—	—	21,5
		14	—	10,6	20	—	8,5	2,5	—	11,2	4,2	—	4	4,3	—	—	—
		2	—	—	3,3	—	—	0,8	—	3,7	5,2	—	1,6	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,4	—	—	—	—

Legenda: → +3 / → +2 / → +1 / → 0 / → -1 / → -2 / → +3

Pela Tabela 34, é possível observar que houve um maior registro de ocorrência apenas de leve desconforto para o frio em P2, tendo sido 25,7% o valor máximo correspondente a este desconforto, na medição 14, em destaque na Tabela. Neste período os dados ambientais registravam:  $T_{BS} = 22.56^{\circ}\text{C}$ ;  $T_r = 21.2^{\circ}\text{C}$ ;  $UR = 43.41\%$  e  $V_{ar} = 0 \text{ m/s}$ , como mostra a Tabela 28.

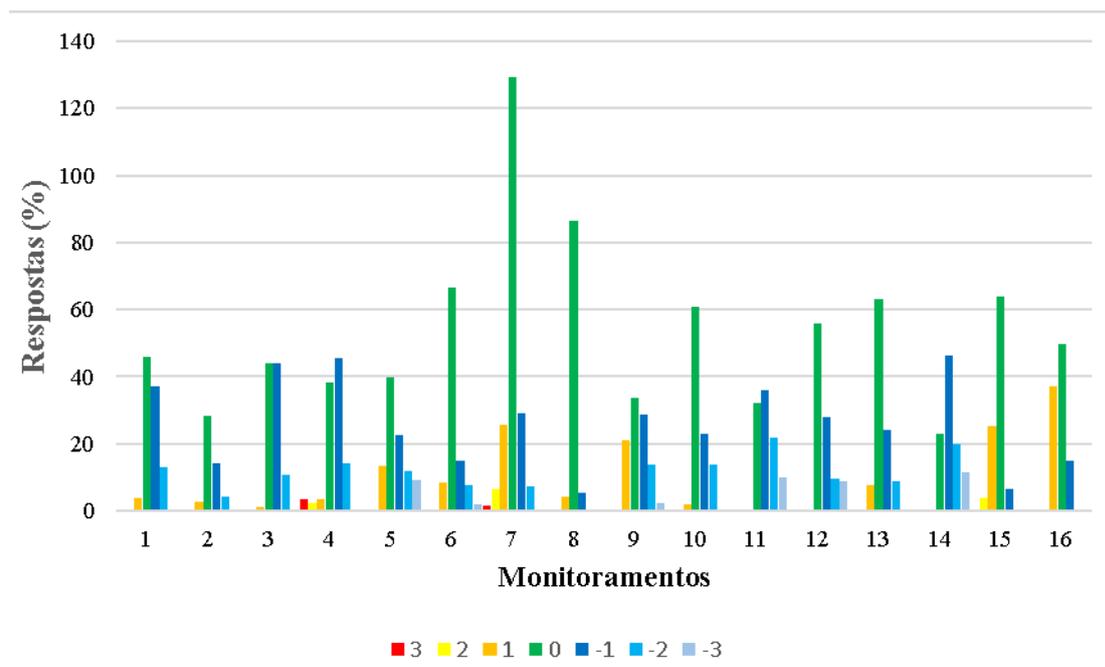
Neste mesmo período de medição (monitoramento 14) foram registrados 11,4% de usuários com frio e com muito frio, no ponto P3. Relacionando esses dados com as variáveis ambientais medidas, é possível conferir que a umidade registrada foi de

43,41%, para este dia, e temperatura de globo com o menor valor, 21,20°C para o período.

Salienta-se também que foi neste mesmo período de medição, monitoramento 14, que a análise com base no modelo do PMV também registrou o maior desconforto para o frio, para cerca de 20% dos ocupantes da sala, como já comentado no item 4.2.1. Foi com base no registro de sensações do monitoramento 14 que o PMV estimou com bastante aproximação.

Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo do PMV estimou a sensação térmica relatada pelos usuários do ambiente monitorado com considerável aproximação. Pela Imagem 71, o Gráfico demonstra as sensações por período monitorado, enfatizando, leve desconforto para o frio nos monitoramentos 4,11 e 14 e conforto na maior parte deles, monitoramentos 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15 e 16. Os maiores percentuais de conforto foram registrados nos monitoramentos 6, 7 e 8, com temperaturas em torno de 23°C para 6 e 8 e 25°C para monitoramento 7, como pode ser visualizado no gráfico da Imagem 70.

**Imagem 70 – Sensação térmica por ponto na sala (por período monitorado)**



De acordo com a Tabela 33 pode-se observar que a aceitabilidade dos usuários apresentou os índices mais altos de desconforto – inaceitável – nas medições 2, 5, 9 e

11, distribuídos em P1 e apenas um em P4. Nessas medições os valores para a temperatura do ar foram: 27,12°C, 25,66°C, 27°C e 23,77°C, respectivamente.

Os maiores registros de velocidade do ar de cada período ocorreram nestes estes pontos (P1 e P4), para os monitoramentos 2, 5 e 9, com velocidades do ar iguais a 0,65 m/s. O monitoramento 11, foi a exceção neste caso, o qual o registro da velocidade do ar medido e sentido pelos usuários foi de calma para todo o período. Assim, relaciona-se a correntes de ar existentes nas medições 2, 5 e 9 como fator determinante para a situação inaceitável descrita pelos usuários. O desconforto registrado na medição 9 foi cerca de 35% dos usuários, enquanto isso as variáveis indicavam, novamente, os menores índices de umidade do ar e temperatura de globo (Tabela 35). Para a medição 11, apesar de apresentar registros de calma da velocidade do ar, apresenta os demais índices com valores baixos de TBS, temperatura de globo, temperatura radiante e operativa. Como já discutido, a combinação de variáveis ambientais com valores numéricos baixo, interfere nos processos de trocas de calor, aumentando a sensação de desconforto pelos ocupantes das salas de aula por interferir no processo de evaporação.

**Tabela 35 – Índices de PPD monitorados**

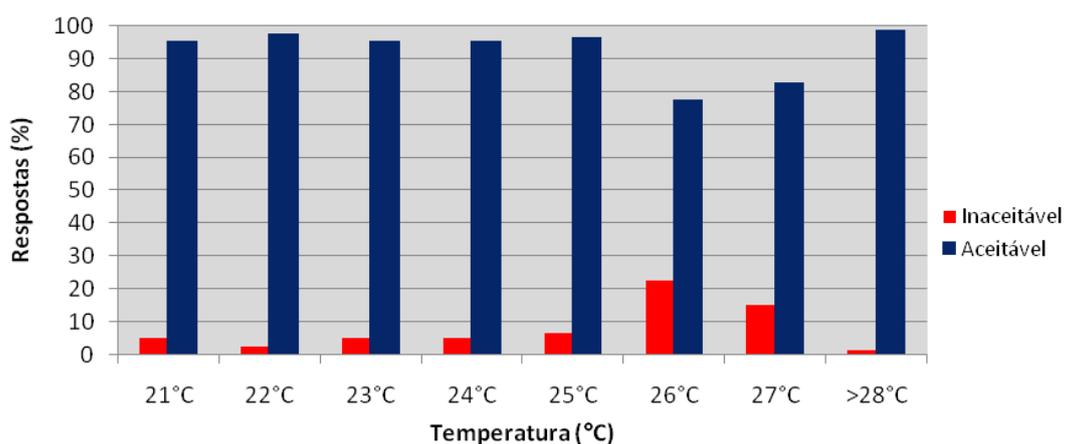
PPD (%) monitorado								
Monitoramentos	Aceitável (confortável)				Inaceitável (desconfortável)			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
<b>1</b>	100%	100%	100%	86,66	0	0	0	13,33%
<b>2</b>	66,66%	100%	-----	-----	<b>33,33%</b>	0	-----	-----
<b>3</b>	100%	100%	100%	-----	0	0	0	-----
<b>4</b>	86,66%	100%	86%	100%	13,33%	0	14%	0
<b>5</b>	66,33%	95%	80%	-----	<b>33,33%</b>	5%	20%	-----
<b>6</b>	95%	100%	100%	100%	5%	0	0	0
<b>7</b>	92%	91,42%	96,67%	100%	8%	8,57%	3,33%	0
<b>8</b>	100%	100%	100%	-----	0	0	0	-----
<b>9</b>	100%	100%	95%	73,33%	0	0	5%	<b>26,66%</b>
<b>10</b>	90%	100%	100%	100%	10%	0	0	0
<b>11</b>	55%	100%	100%	100%	<b>45%</b>	0	0	0
<b>12</b>	80%	100%	100%	80%	20%	0	0	20%
<b>13</b>	100%	100%	85,71%	100%	0	0	14,28%	0
<b>14</b>	100%	-----	100%	70%	0	-----	0	30%
<b>15</b>	100%	70%	76%	-----	0	30%	24%	-----
<b>16</b>	100%	93,33%	100%	-----	0	6,66%	0	-----

Quanto à vestimenta utilizada, pela escala de Fanger (1970), constata-se a semelhança da representação feita pelo autor e os valores encontrados utilizando a no anexo B, Tabela B.1, Tabela B.2 e tabela B.3 da proposta ABNT CB-55: 2017 (ABNT, 2017). Os dados disponíveis foram utilizados para compor o cálculo da vestimenta padrão utilizada pelos usuários. Assim, como mostra o Apêndice E, caracteriza-se, portanto, a vestimenta com o *clo* representativo da respectiva vestimenta dos usuários de 0,5.

#### 4.2.3.2 Aceitabilidade térmica

A segunda pergunta do questionário aplicado avaliou: “*De que maneira você se encontra neste momento?*”, analisando os usuários a respeito da aceitabilidade térmica oferecida pelo ambiente monitorado. As respostas podiam ser dadas se *Aceitável* ou *Inaceitável*, e desta forma, os percentuais indicaram uma média entre 80% e 98% dos entrevistados relatando a sensação de aceitabilidade para todas as temperaturas registradas, sendo a temperatura de 26°C, aquela com maior percentual para situação inaceitável registrando 26,66% (Imagem 71).

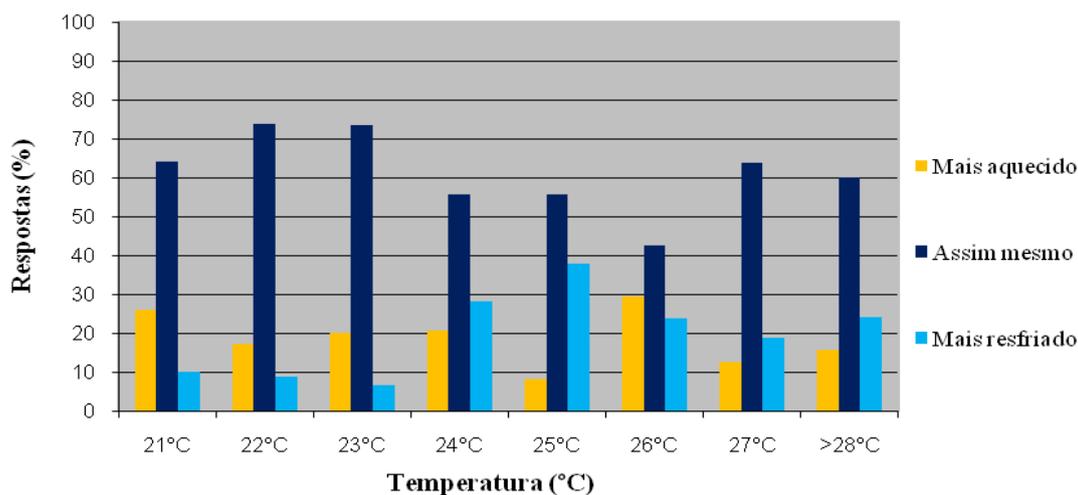
**Imagem 71 – Gráfico da aceitabilidade dos usuários em relação à temperatura do ar**



#### 4.2.3.3 Preferência térmica

Investigando a preferência térmica, o terceiro item do questionário tinha como alternativas de respostas para a pergunta “*Como você preferiria estar se sentindo neste momento?*”: *Mais resfriado*, *Assim mesmo* ou *Mais aquecido*. Basicamente, indicou que para temperaturas até 23°C, após a sensação de neutralidade, a preferência seria por estar mais aquecido, enquanto que para temperatura a partir de 24°C, após a neutralidade, a preferência seria por estar mais resfriado (Imagem 72).

**Imagem 72 – Gráfico da preferência térmica**



Nesta análise, verificou-se que para todos os registros de temperatura monitorados a condição *Assim mesmo* foi acima de 50%, exceto para a temperatura próxima a 26°C, com 42%, que pode ser relacionado as condições de tempo. Este período monitorado foi marcado por condições atípicas dentro dos demais, com céu parcialmente nublado e chuvas passageiras. Para a temperatura próxima aos 25°C houve um maior número de votos para a situação *Mais resfriado*, com 37,77%, enquanto cerca de 29% gostariam de estar *Mais aquecido* para a temperatura, em torno, de 26°C.

Para a temperatura em torno de 25°C o desejo de estar mais resfriado talvez se dê pela ocupação (número de usuários igual a 35) na sala em relação àquela com temperatura próxima a 26°C (número de usuários igual a 15).

### 4.3 Simulações termoenergéticas

Para analisar as proposições demonstradas na matriz de simulação apresentada no capítulo da metodologia, foi simulada inicialmente o modelo que mantém as características da edificação existente. Foram mantidos dados referentes à orientação geográfica e características da envoltória para que posteriormente fossem feitas as sugestões para investigar o percentual de variação no consumo energético. O objetivo com a investigação através da simulação computacional, como descrito nos objetivos específicos, foi *Identificar o impacto econômico da definição do setpoint para o ar-condicionado em diferentes configurações de edifícios escolares no que se refere a orientação; cor das superfícies externas da envoltória e emprego de proteção solar.*

Além de *Examinar a diferença significativa no consumo de energia quando se altera a potência do condicionador de ar.*

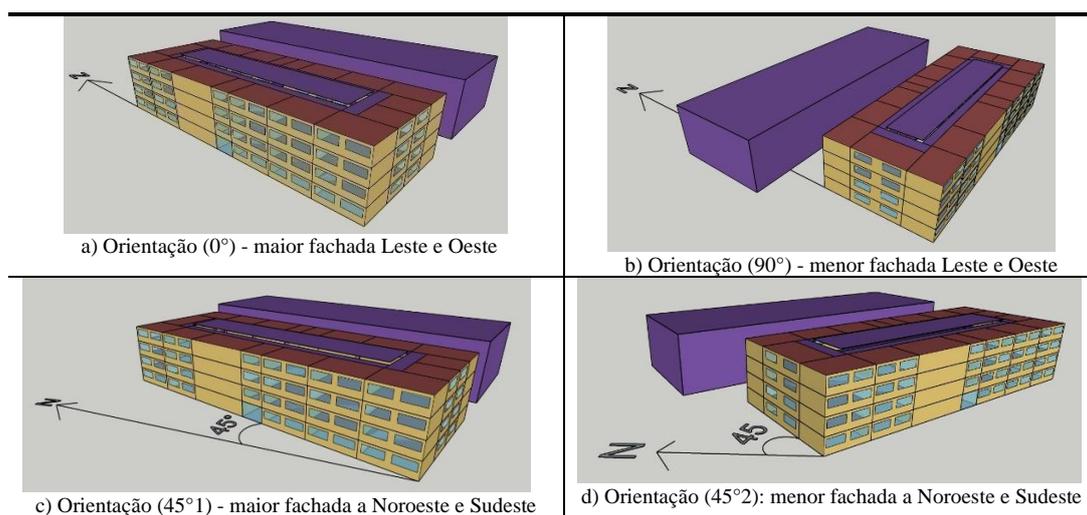
O objetivo geral prevê investigar a influência do *setpoint* nos parâmetros selecionados, portanto, para cada um deles foi feita a simulação para todas as temperaturas do intervalo compreendido entre 21°C e 28°C. Além disso, como já citado, o DTI da Instituição utilizada para o estudo de caso, informou que durante o período letivo havia a combinação de duas temperaturas, uma para o verão e outra para o inverno. Assim, na apresentação e discussão dos dados seguiu-se também essa padronização para comparar se há diferença significativa quando se utiliza duas temperaturas para *setpoint* durante o ano.

Portanto, serão avaliados os impactos das variáveis: *setpoint*, orientação, absorvância, COP e proteção solar no consumo energético para o estudo de caso apresentado.

#### 4.3.1 Modelo 1: Simulação alterando a orientação do edifício

A simulação desse parâmetro, como já demonstrado, utilizou as seguintes disposições para a orientação das fachadas (Imagem 73).

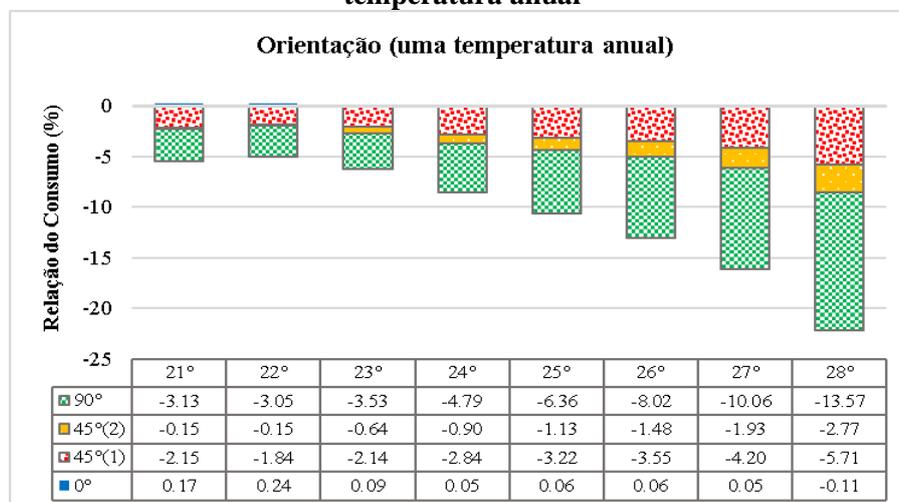
**Imagem 73 – Disposição das orientações das fachadas para simulação.**



É sabido, como indicam as pesquisas para a maior incidência solar, a carga térmica interna tende a aumentar e, portanto, o consumo de energia elétrica também. No entanto, quantificar o percentual de redução ou aumento desse consumo foi o objetivo principal para esta investigação. Assim, o gráfico da Imagem 74, faz uma relação percentual do ganho ou diminuição no consumo de energia elétrica comparado ao

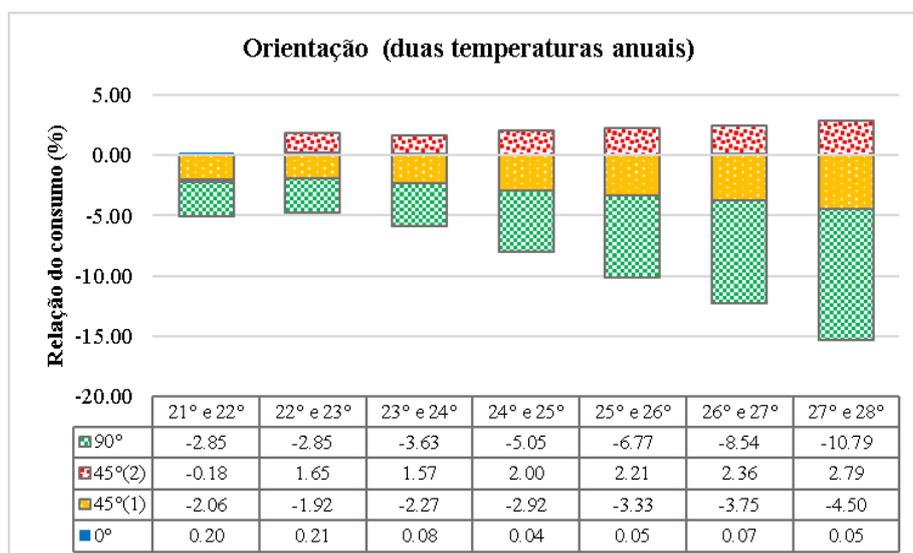
edifício estudo de caso. No gráfico é possível constatar que a maior economia de energia se deu para a orientação a 90°, com 13,66% de economia no consumo final, para a temperatura de 28°C. Comparada a orientação 45° a redução é pouco significativa (em percentuais) até a temperatura de *setpoint* de 24°C.

**Imagem 74 – Variação no consumo energético com base na orientação a partir de uma temperatura anual**



Para as temperaturas entre 23°C e 25°C, discutidas como aquelas nas quais os usuários mais sentem-se confortáveis a redução foi de 3.53% a 6.36%, como pode ser observado no gráfico. Já para o método de empregar duas temperaturas anuais, percebe-se que a melhor orientação para a redução no consumo é a de 90°, na qual as maiores fachadas ficam a Norte e Sul. Segundo o intervalo de conforto indicado pelos usuários, essa economia estaria em torno de 3% a 5%.

**Imagem 75 – Variação no consumo energético com base na orientação a partir de duas temperaturas anuais**



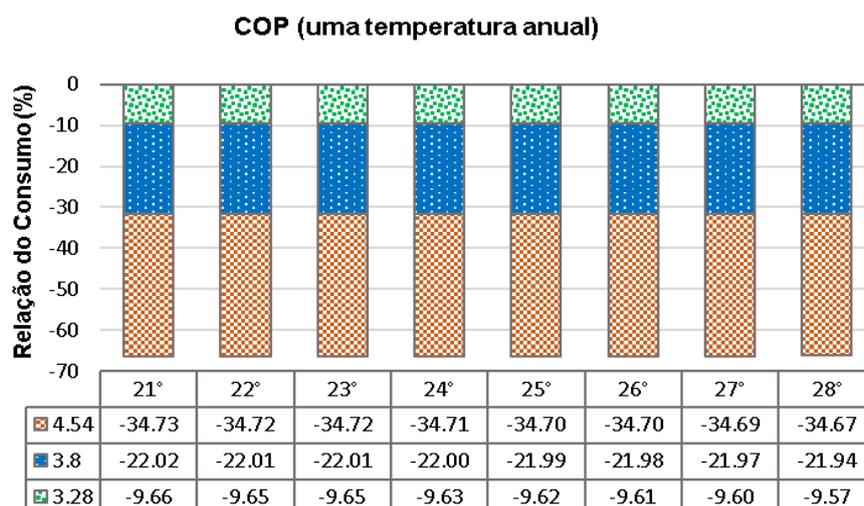
Para as orientações a 0° e 45° (2) (maiores fachadas expostas aos raios do sol), houve um aumento no consumo de energia para os dois casos (uma temperatura anual e duas temperaturas anuais), chegando a quase 3% a mais no consumo final.

Dessa forma, para o parâmetro referente a orientação, a pesquisa reafirma o que a literatura já identifica quanto ao aumento no consumo de energia da edificação quando se expõe ao sol as maiores fachadas. Aumento esse que pode elevar em até 3% esse consumo de energia, enquanto que para a situação inversa (exposição das menores fachadas) haveria uma economia em cerca de 14%. No entanto essa economia ocorreu para temperaturas de *setpoint* próximas aos 28°C que pode gerar desconforto para o calor. Na pesquisa, os dados demonstrados pelo gráfico da Imagem 70, mostram que para essa situação (monitoramento 15) 64% dos usuários com sensação de neutralidade térmica e 25% com leve desconforto para o calor, fato que pode estar relacionado com a menor temperatura radiante registrada nos períodos (20,55°C – Tabela 27)

#### 4.3.2 Modelo2: Simulação alterando o COP do edifício

Para simular a eficiência de alguns modelos de equipamentos condicionadores de ar com base no COP, foram utilizados os seguintes valores  $COP_1 = 3,01$  W/W (utilizado no edifício selecionado para o estudo de caso);  $COP_2 = 3,5$  W/W – Classificação: “A” (INMETRO, 2018);  $COP_3 = 3,8$  W/W - Classificação: “A”(INMETRO, 2018); e  $COP_4 = 4,54$  W/W (RICH, 2018). Manteve-se a apresentação dos dados sob uma temperatura anual para o sistema de resfriamento e com duas temperaturas anuais. Imagens 76 e 77.

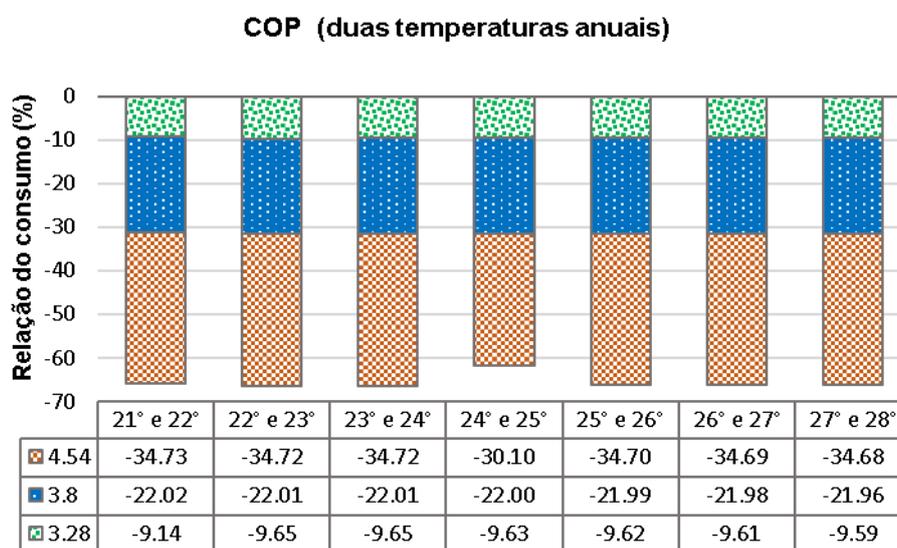
**Imagem 76 – Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de uma temperatura anual para o sistema**



O que esse parâmetro informa é uma diminuição bastante expressiva do consumo energético para o COP indicado nos estudos de Rich (2018) para as cidades localizadas na zona 8, apresentando uma redução média para o período de 34%. Utilizando os equipamentos com etiqueta “A”, de acordo com o Inmetro (2018) a redução média para o período foi aproximadamente 22% para o COP 3.8 e 10% para o COP 3.28. Quanto a mudança de temperatura no termostato, essa não se mostrou significativa mantendo-a praticamente constante em todo o intervalo de temperaturas (Imagens 76 e 77).

Quando a simulação utilizou duas temperaturas anuais, a redução no consumo diminuiu significativamente para o COP de 4,54, reduzindo em média de 16%. Já para os valores consultados no Inmetro, a redução se manteve igual à simulação com uma temperatura anual (14% para o COP de 3.8 e de 10% para o COP de 3.28) (Imagem 77).

**Imagem 77 – Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de duas temperaturas anuais para o sistema**



Assim, para o parâmetro referente a variação do COP, concluiu-se que há evidências que apontem para a troca de equipamento por aquele que apresente maior eficiência, sendo parâmetro que interfere fortemente no consumo final de energia elétrica, variando de 10% a 34% de economia. Quanto ao *setpoint* não houve economia significativa para o consumo entre o intervalo analisado.

#### 4.3.3 Modelo 3: Simulação alterando a absorvância do edifício

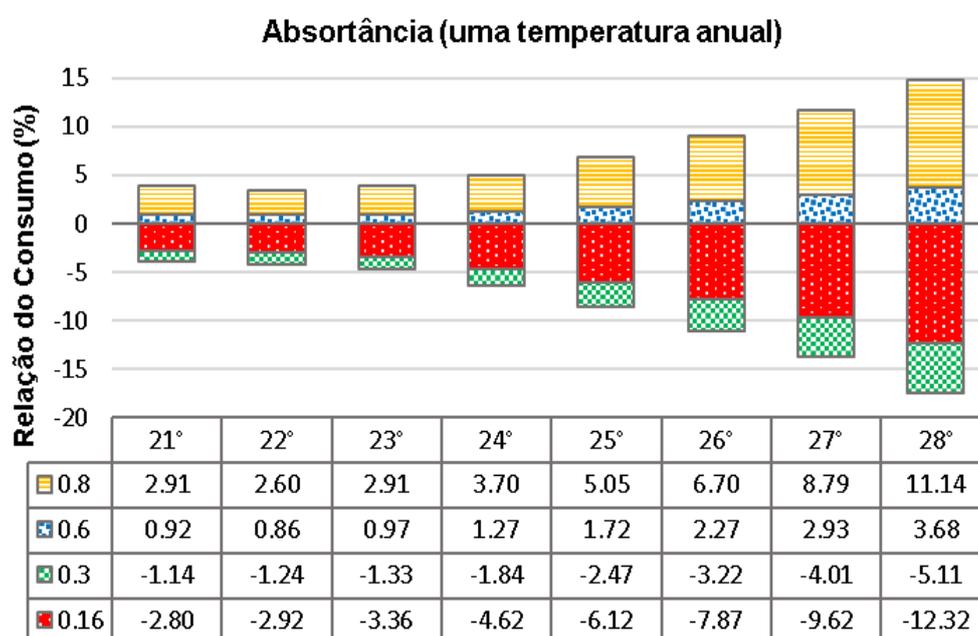
Os dados utilizados para a análise na simulação da absorvância foram selecionados com base nas cores presentes na fachada da edificação e mais três outras

cores com valores de absorções em intervalos subsequentes para que fossem melhor representados este dado, totalizando 5 simulações para este parâmetro.

Pelo gráfico da Imagem 78 utilizando uma temperatura anual, é possível verificar que as cores com maiores absorções, azul escuro e cinza, foram aquelas em que o consumo de energia aumentou em torno de 5% e 2%, respectivamente. Para os tons mais claros, branco gelo e branco, economia de energia elétrica em torno de 3% e 12%, respectivamente.

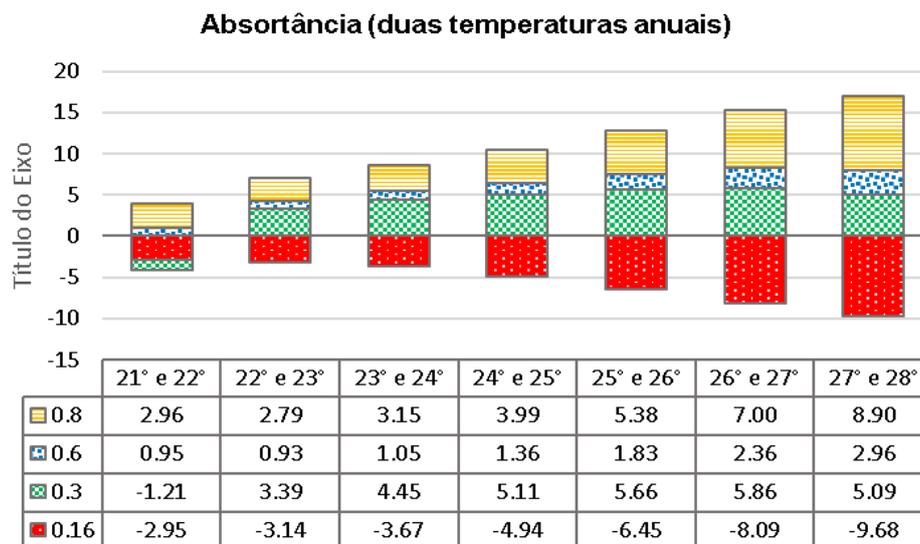
Quanto as cores mais escuras, os parâmetros indicam não somente que a aplicação de cores escuras na envoltória atua na maior absorção de calor, como também resultam em aumento no consumo de energia elétrica em torno de 1% a 11%.

**Imagem 78 – Variação no consumo energético com base na alteração da absorção a partir de uma temperatura anual para o sistema**



Quanto ao comportamento desses percentuais relativos a duas temperaturas anuais, o gráfico da Imagem 79, demonstra o aumento no consumo de energia elétrica em aproximadamente 70% dos casos simulados para os dados relativos a absorção.

**Imagem 79 – Variação no consumo energético com base na alteração da absorptância a partir de duas temperaturas anuais para o sistema**

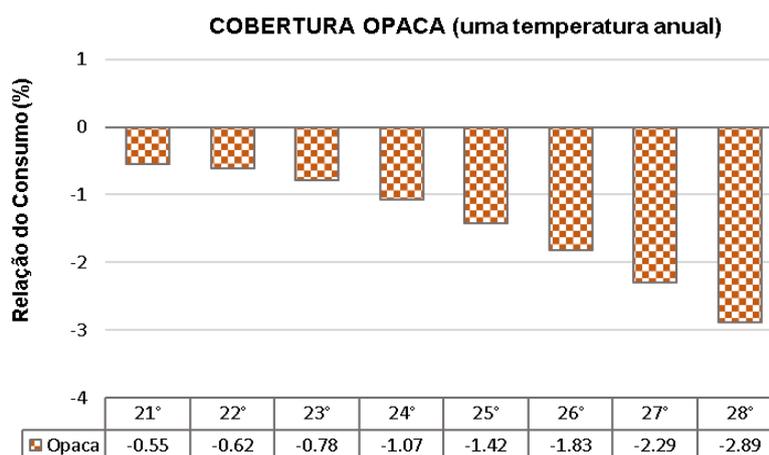


Observa-se que dentro do intervalo de 23°C e 25°C, de conforto para os usuários entrevistados, a economia poderia chegar a 5% se utilizadas cores mais claras na envoltória e apenas uma temperatura anual. Para duas temperaturas anuais a economia ocorre se utilizada a cor branca e ela variou em torno de 3% a 10%.

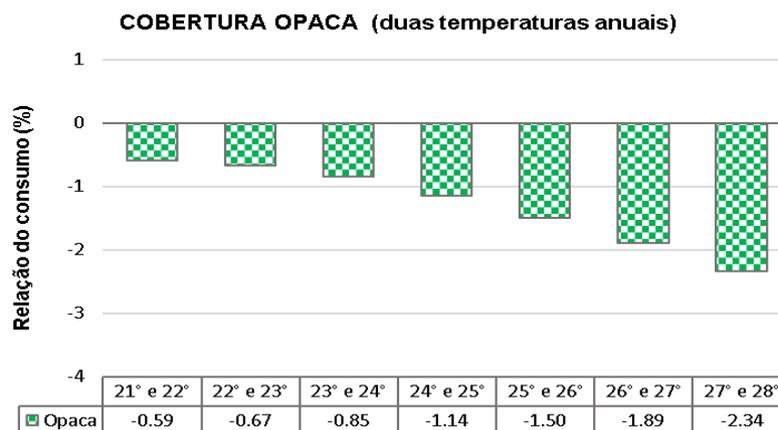
#### 4.3.4 – Modelo 4: Simulação propondo cobertura opaca

Nesta proposta de investigação foi simulada uma cobertura opaca em substituição a cobertura translúcida existente no átrio interno do estudo de caso. No Gráfico da Imagem 82 e 83 é possível comprovar a sugestão de diminuição no consumo de energia elétrica, como respectivo percentual de economia.

**Imagem 80 – Variação no consumo energético com base na inserção de cobertura opaca a partir de uma temperatura anual para o sistema**



**Imagem 81 – Variação no consumo energético com base na inserção de cobertura opaca a partir de uma temperatura anual para o sistema**

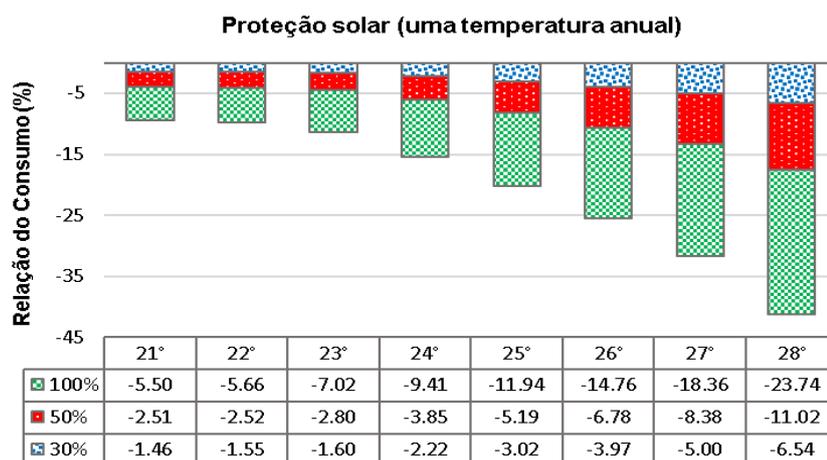


Avaliando as duas situações (uma temperatura anual e duas temperaturas anuais para o termostato), verifica-se uma semelhança de redução no consumo de energia para as duas situações propostas. Retomando a análise do conforto térmico na qual a temperatura predita como mais confortável foi entre 23°C e 25°C, o cenário de cobertura opaca com duas temperaturas anuais (23°C e 24°C; e 24°C e 25°C) foi aquele que representou melhores índices com 0,85% e 1,14% de redução no consumo energético.

#### 4.3.5 Modelo 5: Simulação propondo proteção solar nas aberturas do edifício

A proposição de inserir proteção solar nas aberturas com 100%, 50% e 30% de proteção indicou a redução no consumo mais eficaz para a proteção de 100%, como já era de se esperar. No entanto, o que torna bastante válida a investigação é a diferença nos percentuais apresentados para as três proposições (Imagem 82).

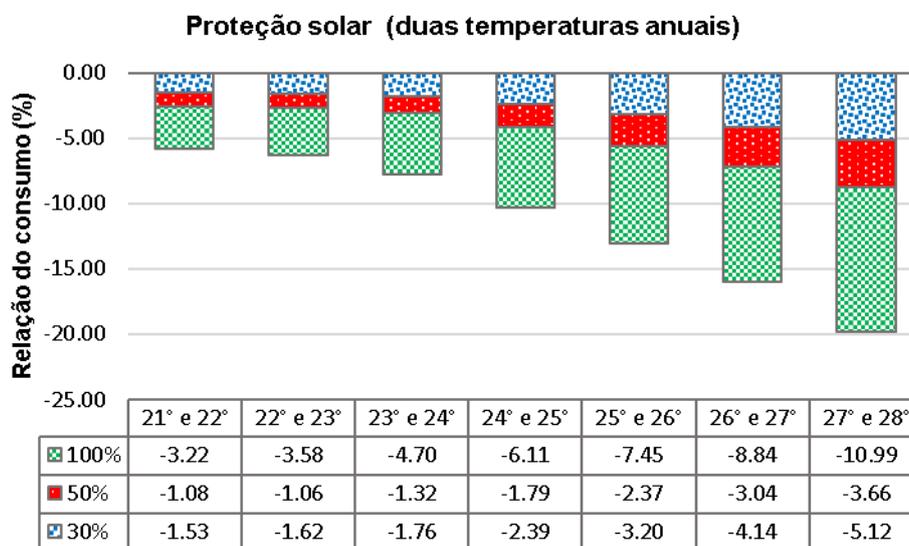
**Imagem 82 – Variação no consumo energético com base na proteção solar a partir de uma temperatura anual para o sistema**



Para uma única temperatura anual, o gráfico da Imagem 85 demonstra redução não somente em relação ao percentual de proteção, bem como na variação da temperatura. Para a proteção total da abertura a média de redução no consumo foi de 12% em relação ao consumo atual. Enquanto para a proteção de 50% e 30% esses percentuais ficaram em torno de 2% e 3%, respectivamente. Em relação ao intervalo de temperatura a diminuição do consumo foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura. Assim, as maiores temperaturas foram aquelas em que o dispositivo de proteção solar apresentou maior eficiência quanto a redução no consumo energético.

Para a situação proposta com duas temperaturas anuais (Imagem 83), a eficiência do dispositivo caiu para cerca de 5%, para 100% de proteção e aproximadamente 1,5% e 2,5% para 50% e 30% de proteção das aberturas.

**Imagem 83 – Variação no consumo energético com base na proteção solar a partir de duas temperaturas anuais para o sistema**



Assim, mais uma vez os números indicam que a utilização de duas temperaturas durante o ano altera o consumo energético, aumentando o consumo em relação a utilização de apenas uma única temperatura anual e, neste caso, interferiu na eficiência dos dispositivos de proteção solar.

Dessa forma, quanto a influência no uso de protetores solares para estudo de caso, este seria mais viável se dimensionado com 100% de obstrução dos raios solares e a edificação utilizasse apenas uma temperatura para o *setpoint* anual.

## **CONCLUSÕES**

## 5 Conclusões

---

O presente trabalho tratou de verificar o impacto da definição da temperatura interna (*setpoint*) para o conforto térmico e para o consumo energético, em ambientes condicionados situados no clima quente e úmido.

Primeiramente revisou a bibliografia quanto às teorias do conforto térmico e suas implicações e aplicações para o ambiente condicionado artificialmente. Esse estudo indicou o método mais adequado, de acordo com pesquisas realizadas na área e normas internacionais e brasileiras, para analisar as condições de conforto térmico para este tipo específico de ambiente. O método analítico do PMV – PPD aliado ao modelo SET foi aquele selecionado como o mais indicado para ambiente que utilizam exclusivamente o ar-condicionado.

Com o estudo de caso foi selecionada uma edificação escolar situada na cidade de Maceió/AL, de modo a acompanhar através de monitoramentos das variáveis ambientais, por determinado período, a sensação e preferência térmica dos ocupantes das salas investigadas. Pela medição das variáveis ambientais e aplicação dos questionários foi possível relacionar a influência de algumas delas na sensação de conforto térmico, como:

– A presença da velocidade do ar combinada à baixa umidade atuou no processo de trocas térmicas resultando em sensação de conforto, mesmo para temperaturas mais altas;

– Os registros quanto à aceitabilidade térmica dos ocupantes indicaram, mesmo para altas temperaturas, boa resistência ao calor, como já demonstram pesquisas na área quanto a maior facilidade de aclimatação dos moradores de cidades com climas quentes para ambientes igualmente quentes.

– Confirmou-se, quanto à ocupação, salas com metade da sua capacidade registraram leve sensação de frio para uma parcela dos usuários enquanto outra, com total capacidade preenchida apresentou parte dos usuários preferindo estar mais resfriado, para as temperaturas 25°C e 26°C, respectivamente. Tal fato pode ser explicado pelo processo de evaporação do suor da pele com influência do processo de convecção que é afetado pelo movimento do ar.

– Mesmo com registros de calma da velocidade do vento, temperatura de globo e conseqüente temperatura radiante média, juntamente com a umidade relativa do

ar, influem no processo de evaporação da pele e conseqüente equilíbrio térmico do corpo, pois quanto mais seco é o ar, mais rápida é a evaporação

A análise do conforto com base no modelo PMV-PPD indicado pela norma brasileira (NBR 16401-2, 2019) mostrou-se satisfatória quando comparada as respostas dadas pelos usuários. Indicado temperaturas em torno de 23°C como a mais desconfortável e aquelas em torno de 24°C como a mais confortável.

- Quanto ao modelo SET pode-se dizer que também se mostrou válido para a análise a medida em que considerou em 100% dos casos situação de conforto predominante para os usuários destes ambientes com registros de leve desconforto para o frio apenas para uma pequena parcela de usuários (média de 22%).

- Em relação a proposta ainda não publicada da NBR 16401-2: 2019, a qual recomenda valores suscetíveis a produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais de pessoas, indicando parâmetros de temperatura operativa para o verão e inverno, este também foi confirmado com a variação dessa temperatura. Os cálculos indicaram temperatura operativa dentro dos limites recomendados pela norma.

Posteriormente as pesquisas foram direcionadas à análise das temperaturas de acionamentos dos sistemas de refrigeração e sua relação com a eficiência energética. Com base no uso exclusivo de condicionador de ar como única estratégia de resfriamento dos ambientes, conclui-se que a edificação poderia obter economia de energia elétrica a partir do estudo de alguns elementos da envoltória. Para isso, investigou orientação, COP, absorvância, cobertura opaca e a inclusão de protetores solares nas aberturas. Foram relacionados cada um desses parâmetros aos valores monitorados para a temperatura do ar interna e foram obtidos os seguintes resultados:

- *Orientação*: para este aspecto a orientação que mais diminui o consumo energético, em até 14%, foi aquele com as maiores dimensões de fachadas voltas para norte e sul;

- *COP*: apresentou significativa redução no consumo de energia elétrica quando utilizado um equipamento mais eficiente, atingindo até 34% de economia para um equipamento com COP específico para zona 8. Para as demais simulações comparativas utilizando equipamentos de linhas comerciais a redução entre 10% e 20%, para o de menor e de maior COP, respectivamente.

- *Absorvância*: as cores mais escuras indicaram aumento no consumo de energia elétrica em torno de 1% a 11% ao ano, enquanto as cores mais claras indicaram reduções de até 12% no consumo final de energia elétrica.

- *Cobertura opaca*: cobertura opaca resultou em uma redução média de 1,5% para o consumo final em comparação a cobertura translúcida existente na edificação.

- *Protetores solares*: para estes dispositivos de proteção solar, aquele com proposta de proteger 100% das aberturas tiveram, em média, uma redução de 12% em relação ao consumo atual. Enquanto para a proteção de 50% e 30% esses percentuais ficaram em torno de 2% e 3%, respectivamente.

É importante complementar que para os casos investigados a economia de energia mostrou-se mais eficiente quando foram mantidas uma mesma temperatura de *setpoint* para todo o ano nos aparelhos condicionadores de ar, exceto para a cobertura opaca e para o COP (a economia manteve-se praticamente constante para os dois casos).

Os dados do EPE (2018), apresentados no item da Revisão Bibliográfica, nos quais indica o crescimento no consumo de energia por região do Brasil, é possível prever que os números tenderiam a cair, em média, cerca de 12% caso fossem adotadas as medidas indicadas pela norma Brasileira. Dessa forma, é necessário que pesquisas nesse âmbito atinjam ampla divulgação quanto as medidas comparativas entre materiais e sua aplicação como estratégias direcionadas a redução no consumo dessa energia, desde a concepção do projeto, evitando uso de materiais economicamente ineficientes ou mesmo fazendo sua compensação quando o uso for estritamente necessário.

Conclui-se portanto que o melhor cenário de conforto térmico para os ocupantes dos espaços analisados é aquele com temperatura do ar ambiente entre a 23°C e 25°C; índice de vestimenta de 0,5 *clo*; taxa metabólica igual a 1 met; velocidade do ar <0,5 m/s; umidade relativa em torno de 45%.

Para a eficiência energética o melhor cenário foi aquele com maiores fachadas orientadas a Norte e Sul; uso de equipamento condicionador de ar com maior COP; utilização de cores claras na envoltória e proteção solar nas aberturas. A adoção dessas estratégias representaria para a edificação uma redução média de 12% no consumo final de energia elétrica.

Vale destacar que no decorrer da pesquisa foram encontradas diversas dificuldades referentes ao tempo de liberação e obtenção de dados da Instituição do estudo de caso, ausência de informações construtivas utilizados na obra de modo a inserir as informações no banco de dados de entrada do *software* selecionado para a simulação computacional. Atrasos no recebimento da autorização (Anexos 2 e 3) da Instituição e do Comitê de ética para a realização dos monitoramentos e aplicação dos

questionários. Além disso, muita resistência por parte de alguns alunos na participação da pesquisa de campo diminuindo o total de votos pretendido por período de medição.

Desse modo, sugere-se o incentivo de pesquisas com maior participação da população de modo a conscientizá-la da importância de estudos como esse. Além da maior publicidade aos resultados acadêmicos de modo que a população se torne mais informada quanto aos benefícios de se construir para o clima e com o clima, exigindo de construtores e projetistas maior integração.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, observaram-se alguns possíveis desdobramentos relacionados ao tema, como:

- i) Aprofundar a temática analisando, por exemplo, a influência de átrios na perda de calor pela envoltória, investigando qual solução (coberto ou não) refletiria melhores resultados do ponto de vista da eficiência energética para a edificação.  
a influência de mais parâmetros como a transmitância da envoltória e a capacidade térmica, além de poder ser comparada com cidades de clima e características construtivas similares;
- ii) Desenvolvimento de mais experimentos de campo em regiões climáticas distintas com o objetivo de contribuir para a formação de um banco de dados relacionados ao contexto climático do Brasil;
- iii) Experimentos simulando sistemas híbridos de resfriamento para ambientes com uso exclusivo de ar-condicionado.
- iv) Desenvolvimento de um aplicativo que apresente o percentual de ganhos e perdas percentuais para o consumo de energia elétrica através de uma base de dados construtivos.

## **REFERÊNCIAS**

## REFERÊNCIAS

---

- ABNT/CB-55. 3º Projeto de revisão para a ABNT NBR 16401-2. *In: Revisão da NBR 16401-2: Conforto Térmico, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE*, 2019.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 16401-1**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. São Paulo, SP, 2008.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 16401-2**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. São Paulo, SP, 2008.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 16401-3**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do ar interior. São Paulo, SP, 2008.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ABRAVA. Mercado de Ar Condicionado. *Revista Abrava*, p. 44-47, 2013.
- ABRAVA. **A importância na qualidade do ar interno nas salas de aulas – Qualindoor**. 2020. Disponível em: <https://abrava.com.br/a-importancia-na-qualidade-do-ar-interno-nas-salas-de-aulas/>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- ABRAVA. **Conclusões das mesas redondas do CONBRAVA 2019 apontam caminhos para os temas de QAI, fluido refrigerante e eficiência energética**. 2019. Disponível em: <https://abrava.com.br/conbrava-2019-conclusoes-mesas-redondas-qai-fluido-refrigerante-e-eficiencia-energetica/>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- ABREU, Patrícia. Consumo de energia global cresceu em 2017 ao ritmo mais rápido desde 2013. **Negócios**. Rio de Janeiro, jul. 2018. Disponível em: <https://www.jornaldenegocios.pt/mercados/materias-primas/detalhe/consumo-de-energia-global-cresceu-em-2017-ao-ritmo-mais-rapido-desde-2013>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- AKIMOTO, T. *et al.* Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. **Building and Environment**, v. 45, p. 45–50, 2010.
- AMBU, S. *et al.* Environmental health and building related illnesses. **Int. e Journal Sci. Med. Educ.**, v. 2, p. 11-18, 2008.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2013.

ANDREASI, Wagner Augusto; LAMBERTS, Roberto; CÂNDIDO, Christhina. Thermal acceptability assessment in buildings located in hot humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 1225-1232, 2010.

ANSI/ASHRAE Standard 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2017.

ANVISA. **Nota Técnica - Nº 03/2020/SEI/CIPAF/GIMTV/GGPAF/DIRES/ANVISA, 05/05/2020**. maio 2020.

ANVISA. **RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Orientação técnica elaborada por grupo técnico assessor sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE\\_09\\_2003\\_.pdf/8ccafc91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8ccafc91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10). Acesso em: 04 abr. 2020.

AQUINO NETO, F. R.; BRICKUS, L. S. R. Padrões referenciais para análise de resultados de qualidade físico-química do ar de interiores visando à saúde pública. **Revista Brasindoor**. 1999.

ARAÚJO, M. R.; ALBUQUERQUE, K. M.; BITTENCOURT, L. S. Síndrome do edifício doente: um estudo em ambientes de sala de aula em um centro universitário em Maceió/al. I **Simpósio de avaliação de impactos ambientais e de saúde**. Maceió, 2018.

ARAÚJO, M.RO. **Conforto Térmico em Salas de Aula Localizadas em Clima Quente e Úmido: Uma Avaliação do Limite Inferior da Zona de Conforto**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2008.

ARAÚJO, V.M.D. **Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares**. Natal: Edufrn, 2001.

ARAÚJO, V. **Parâmetros de conforto térmico par usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

ASHRAE. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ANSI/ASHRAE Standard 55-1992a, (ASHRAE: Atlanta), 1995.

ASHRAE. **Fundamentals**. Atlanta. Thermal Comfort. 1997.

ASHRAE Standard 55. **Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta. USA, 2001.

ASHRAE 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.

Barbirato, G.; Souza, L.; Torres, S. (2016) **Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos**. 2ª edição, Maceió: EDUFAL, 2016. 201p

BATISTA, J. O. **Eficácia da ventilação mecânica noturna para resfriamento: impacto de estratégias híbridas de ventilação no desempenho térmico de residência em Florianópolis – SC**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2011.

BATIZ, E. C. *et al.* Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009.

BEYER, P. O. **“Apostila de aquecimento ambiental”**. Departamento de Engenharia Mecânica (DMEC), UFRGS, 2009.

BIROL, F. **The coronavirus crisis reminds us that electricity is more indispensable than ever**. IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/the-coronavirus-crisis-reminds-us-that-electricity-is-more-indispensable-than-ever>. Acesso em: 11 maio 2020.

BITTENCOURT, L. S. **Uso das cartas solares**. 5. ed. Maceió: EDUFAL, 2015.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M. **Introdução à ventilação natural**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2008.

BITTENCOURT, L. S. **Ventilation as a cooling resource for warm humid climates: An investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings**. Tese (Doutorado em Environment and Energy Studies). Architectural Association Graduate School, Londres, 1993.

BRAGA, L. C. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial**. Dissertação (Mestrado). Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

BRAGER, G.; DE DEAR, R. Climate, comfort & natural ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standart 55. **Center for Environmental Design Research – Center for the Build Environment**. University of California, Berkeley, 2001.

BRASIL. **Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2012**. INMETRO – Aprova os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Distrito Federal, DF.

BRASIL. **Lei 13.589, de 04 de janeiro de 2018**. Dispões sobre a Manutenção de Instalações e Equipamentos de Sistemas de Climatização de Ambientes. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/113589.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2013.589%2C%20DE%204%](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113589.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2013.589%2C%20DE%204%)

20DE%20JANEIRO%20DE%202018.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20de,Art. Acesso em: 14 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998.** Brasília, 1998. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523\\_28\\_08\\_1998.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html).

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia de assuntos jurídicos. Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. *In*: **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2001.

BRÍGITTE, G. T. N. et al. Modelo de informação da construção para o projeto 111 baseado em desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 4, p. 9–26, 2016.

CÂNDIDO, C. *et al.* Cooling exposure in hot humid climates: are occupants “addicted”? **Architectural Science Review**, v. 53, n. 1, p. 59-64, 2010.

CÂNDIDO, C. M. **Ventilação natural e código de obras: uma análise das tipologias de aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió-Al.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió-Al, 2006.

CĂTĂLINA, T.; BANU, T. Impact of indoor environmental conditions on students intellectual performance. **BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI Publicat de Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi**” din Iași Tomul LX (LXIV), Fasc. 3, 2014 Secția CONSTRUCȚII. ARHITECTURĂ, 2014.

CBIC/SINDUSCON-MG. **Principais Normas Técnicas Edificações.** 2015.

CORBELLA, O.; YANAS, S. Conceitos físicos, questões técnicas e exemplos. *In*: **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos.** Rio de Janeiro: Ruas, 2003.

CORBIOLI, N. Ar condicionado: janela, split ou central. Para esfriar o ambiente, e o bolso. *In*: **Revista Projeto Design.** 2004. São Paulo, ed 297.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951-959, fev. 2007.

COSTA, Ennio Cruz da. **Arquitetura ecológica – condicionamento térmico natural.** 6.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

COSTA, Ennio Cruz da. **Física aplicada à construção: conforto térmico.** 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

COUTINHO, A. S. **Conforto e insalubridade térmica em ambiente de trabalho.** João Pessoa: PPGEM, 1998.

CRUZ E SILVA, V. S. **A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifício de escritórios.** Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-

Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

CUBI ENERGIA. **Consumo do ar-condicionado e seu futuro**. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/consumo-ar-condicionado-seu-futuro/>. Acesso em: 27 dez. 2018.

CUNHA, E. G. Mitos e verdade sobre o *brise-soleil*: da estética à eficiência energética. **Revista Arquitetura**, v. 7, n. 1, p. 73-80, jan/jun 2011.

DAGHIGH, R.; SOPIAN, K. Effective Ventilation Parameters and Thermal Comfort Study of Air-conditioned Offices. **American Journal of Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 943-951, 2009

DE DEAR, R. Adaptive comfort applications in Australia and impacts on building energy consumption. Proceedings of the 6th International Conference On Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings. **Anais...Sendai: Japan**, 2012.

DE DEAR, Richard de, et al. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor Air**, [s.l.], v. 23, n. 6, p.442-461, 16 maio 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ina.12046>.

DE DEAR, Richard et al. Adaptive thermal comfort in australian school classrooms. **Building Research and Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2015.991627>.

DE DEAR, R. *et al.* The effects of higher temperature setpoints during summer on office workers' cognitive load and thermal comfort, **Elsevier**, Austrália, 2017.

DE GIULI, V.; DA POS, M.; DE CARLI, M. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary school. 2012. **Buildings an Environment**, 56, 335-345.

ELITE SOFTWARE. **Engineering Design Software for Engineers, Architects and Contractors**. 2020. Estados Unidos, EUA. Disponível em: <https://www.elitesoft.com/web/hvacr/chvacx.html>. Acesso em: 16 jun. 2020.

EPE. **Nota Técnica DEA 001/2017**: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Brasília. EPE. 2017b.

FABI, V. *et al.* Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. **Building and Environment**, v. 58, n. 0, p. 188-198, 2012.

FADEYI, M. O. Initial study on the impact of thermal history on building occupants' thermal assessments in actual air-conditioned office buildings. **Building and Environment**, v. 80, p. 36-47, 2014.

FAKHOURY, N. A. **Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

FANGER, P. O. Human requirements in future air-conditioned environments. **International Journal of Refrigeration**, 2001. v. 24.

FANGER, P.O. **Thermal confort**. New York: McGraw-Hill Books Company, 1970.

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

FILHO, L. T. *et al.* Estudo qualitativo do impacto da ventilação natural em centro universitário de Maceió. **CAIITE**. Maceió, 2016.

FOUNTAIN, M.; BRAGER, G.; DE DEAR, R. Expectations of indoor climate control. **Energy and Buildings**, vol 24, 1996.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 6. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUTCHER, J. A.; KERSHAW, T.; MILLS, G. Urban form and function as building performance parameters. **Building and Environment**, n. 62, 2013.

GAITANI, N; MIHALAKAKOU, G; SANTAMOURIS, M. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. **Building and Environment**, n. 42, p. 317-324, 2007.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. **Electricity end-uses in the residential sector of Brazil**. Energy Policy, v. 35, n. 8, p. 4107–4120, 2007

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *In: Energy and Building*, v. 18, p. 11-23, jul. 1992.

GODISH, T. **Air quality**. 3. ed. Boca Raton: CRC, 1997.

GOMES, A. P. **Método de avaliação do desempenho térmico de edifícios comerciais e residenciais em light steel framing**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2012.

GÓMEZ, F; GIL, L.; JABALOYES, J. Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. **Build. Environ**, v. 39, p. 1077-1086, 2004.

GOMEZ, L. A. **Aquedutos**. (online). Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/~luis/ecv5644/aqu.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

HANEDA, M. et al. The effects of thermal discomfort on task performance, fatigue and mental work load examined in a subjective experiment. **Proceedings of Healthy Buildings**. Syracuse, New York. Paper 233, 2009.

HECKSHER, S. D.; FERRAZ, F. T. Gestão de conforto térmico em ambientes climatizados artificialmente: proposta de ferramenta de diagnóstico e ação. **Enegep-XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de produção**. João Pessoa, 2016.

HENSEN, J. **On the thermal interaction of building structure and 193 heating and ventilating system**. PhD thesis: Technische Universiteit Eindhoven, 1991.

HOYT, T. *et al.* **CBE Thermal Comfort Tool**. Center for the Built Environment, University of California Berkeley, 2013. Disponível em: <http://www.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em: 16 jun. 2020.

HUANG, L. *et al.* A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. **Building and Environment**, v. 49, p. 304-309, mar. 2012.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: PNAD: Dóntese de indicadores 2015 / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento**. - Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 108p.

IEA. Energy Efficiency Governance. International Energy Agency. Paris. 2010

INMET. **Banco de dados meteorológicos para Ensino e pesquisa**. (online). 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 1 fev. 2019.

ISO Standard 7730. **Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**, Geneva International Standards Institution, 2005.

ISO Standard 7726. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments and methods for measuring physical quantities**. Geneva International Standards Institution, 1998.

KARJALAINEN, S. Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1594-1603, 2007.

KARJALAINEN, S. Thermal comfort and gender: A literature review. **Indoor Air**, v. 22, n. 2, p. 96-109. 2012

KATAFYGIOTOU, M. C.; SERGHIDES, D. K. Thermal confortos a typical secondary school building in cyprus. **Sustain Cities Soc**, n. 13, p. 303-312, 2014.

KEITH, D.; HA-DUONG, M.; STOLAROFF, J.;2006. **Climate strategy with CO2 capture from the air**. *Clim. Change* 74 (1 3), 17 45.

KIANG, R. *et al.* Meteorological, environmental remote sensing and neural network analysis of the epidemiology of malaria transmission in Thailand. **Geospat. Health**, v. 1, p. 71-84, 2006.

KINGMA, B.; FRIJNS, A.; VAN MARKEN LICHTENBELT, W. The Thermoneutral Zone: Implications for metabolic studies. **Frontiers in Bioscience**, v. 4E, n. 5, p. 1.975-1.985, 2012.

KOENIGSBERGER, *et al.* **Viviendas y Edifícios em Zonas Cálidas y Tropicales.** Madrid: Paraninfo, 1977.

KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Princípios de transferência de calor.** [s.l.] Cengage Learning, 2012.

LABEEE. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.** Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-bio>, acesso em: 20/11/2017

LAMBERTS *et al.* **Conforto e stress térmico.** Florianópolis: Labee – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2016.

LAMBERTS *et al.* **Desempenho térmico de edificações.** Florianópolis: Labee – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2016.

LAN, L. *et al.* Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1578-1588, ago. 2009.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied ergonomics**, v. 42, n. 1, p. 29-36, dez. 2010.

LIAO, F. C. *et al.* Influence of Urban Microclimate on Air-Conditioning Energy Needs and Indoor Thermal Comfort in Houses. **Hindawi**, Taiwan, 2015.

LORSCH, H. G.; ABDU, O. A. **The impact of the building indoor environment on occupant productivity - Part 2:** Effects of temperature. ASHRAE Transactions, v. 100, Part 2. 1994.

MARTINS, T. L. O. G. **Dispositivos de proteção solar e eficiência energética de escritório:** uma avaliação para a cidade de Maceió – AL. 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió. 2007.

MASCARÓ, L. R. **Luz, clima e arquitetura.** São Paulo: Nobel, 1985.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2007

MATTOS, U.; MÁSCULO, F. **Higiene e segurança do trabalho.** Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2011.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15, n. 1, p. 27-52, 2005.

MENEGATTI, M. de C.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Influência do índice de massa corpórea e frequência de atividades físicas no conforto térmico humano: análise

estatística de dados de estudo de campo com usuários de escritórios em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 119-133, jul./set. 2018.

MENEZES, M. S. **Refrigeração e ar-condicionado**. Apostila online. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo.RS, 2005.

MILLIET, S. *Diário Crítico* (16 dez.1959). 2.ed. São Paulo: Martins; Edusp, 1981. v.X,

MISHRA, Asit Kumar; RAMGOPAL, Maddali. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. *Building and Environment*, v. 92, p. 396–406 , out. 2015b. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.024>.

MONTEIRO. Edifício ambiental. **Oficina de textos**, São Paulo. 2015.

MURAKAMI, S. Indoor/outdoor climate design by CFD based on the Software Platform. **International Journal of Heat and Fluid Flow**, n. 25, p. 849-863, 2004.

MUZZI, T. A. **Métodos de avaliação da resistência e transmitância térmicas do sistema de fechamento em *Light Steel Framing***. Dissertação (Mestrado). Pragma de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2014.

NEVES, R. S. **Impacto econômico do uso de ar condicionado em edifícios residenciais na cidade de Maceió/AL**. Tese (Doutorado) Universidade federal de Alagoas. Maceió, 2008.

NICOL, J. Fergus. Comfort and energy use in buildings - Getting them right. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 737-739, 2007.

NICOL, J. Fergus; ROAF, Susan. Rethinking thermal comfort. **Building Research & Information**, [s.l.], v. 45, n. 7, p.711-716, 30 mar. 2017.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, E. A. **Análise da relação entre os parâmetros arquitetônicos, o conforto térmico e a produtividade em escritórios com ventilação natural**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

OLIVEIRA, J. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema - Al**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Pos Arq, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2006.

OLIVEIRA, L. S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. 2012

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Os primeiros estudos sobre conforto térmico no Brasil: a contribuição de Paulo Sá.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2003.

OLIVEIRA, T. A.; OTTO, T. R. **Textos de apoio à programação física dos estabelecimentos assistenciais de saúde** — Sistemas de controle das condições ambientais de conforto. Brasília, 1995. 92 p. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents>. Acesso: 19 dez. 2018.

ONU. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050.** 2019.

PASSOS, I. C. **Ventilação natural em edificações residenciais: parâmetros normativos para configuração das aberturas.** Tese (Doutorado). Faculdade da Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2017.

PBE EDIFICA. **Manuais e Instrução Normativa 02/2014.** Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica>. Acesso em: 22 mai 2018.

PEREIRA, A. R. **Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória.** 2019. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG, Belo Horizonte, MG. 2019.

PEREIRA, C. D. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado. Florianópolis, 2014.

PEREIRA *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – versão 8.0.** 2015. Disponível em: [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Manual\\_Ventilacao\\_v8\\_0.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_Ventilacao_v8_0.pdf). Acesso: 10 jan. 2019.

PEREIRA, S. B. **A contribuição das tecnologias digitais de automação industrial para a eficiência energética.** Revista Automação, Brasil, n. 1, julho 2019. Disponível em: <https://revista-automacao.com/market-overview/19731-a-contribui%C3%A7%C3%A3o-das-tecnologias-digitais-de-automa%C3%A7%C3%A3o-industrial-para-a-efici%C3%Aancia-nerg%C3%A9tica>> Acesso em: 18 mar. 2020.

PERILLO, Paulo José Lima; CAMPOS, Marcus André Siqueira; ABREU-HARBICH, Loyde Vieira. **Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura.** **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 8, n. 4, p. 236-248, dez. 2017.

PEREIRA, C. D. **A influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Unifamiliares Ocupadas e ventiladas Naturalmente.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2009.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis. **Encontro Nacional e Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 2015.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, Oxford, v. 41, p. 272-278, 2009

RAMON, F. **Ropa, sudor y arquitecturas**. Madrid: H. Blumen, 1980.

RECH, Letícia Dotta. **Análise do COP anual de condicionadores de ar tipo *Split* fixo e inverter nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UNISINOS, São Leopoldo. 2018.

ROAF, S.; NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Twentieth century standards for thermal comfort: promoting high energy buildings. **Architectural Science Review**, v. 53, p. 65-77, 2010.

ROCHA, F. *et al.* Um Sistema de Gerenciamento e Automação de Climatização para Eficiência Energética. In: Seminário Integrado de *Software e Hardware* (SEMISH), 46., 2019, Belém. **Anais do XLVI Seminário Integrado de Software e Hardware**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, p. 81-92, jul. 2019.

ROELOFSEN, P. The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement. **Journal of Facilities Management**, v. 1, p. 247-264, 2002.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. p. 66, 2000.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil** – versão 3.0. ANTAC. São Carlos, 2014.

RUAS, ÁLVARO CESAR. Avaliação de conforto térmico - Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. São Paulo: FUNDACENTRO, 2001.

RUPP, R. F. *et al.* Aplicabilidade do modelo PMV/PPD para avaliação de conforto térmico em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em Florianópolis/SC. **ENCAC**. Campinas-SP, 2015.

SALIBA, T.M. **Manual prático de avaliação e controle de calor** – PPRA. São Paulo: LTr, 2000.

SAMAN, W. *et al.* **A framework for adaptation of Australian households to heat waves**. National climate change adaptation research facility, gold coast: 2013.

SANCHEZ, F.; SALMERÓN, J.; ALVAREZ, S. A new methodology towards determining building performance under modified outdoor conditions. **Building and Environment**, n. 41, p. 1231-1238, 2006.

SANTOS, E. J. **Caracterização de ruído de sistemas de ar-condicionado unitário tipo “Mini-Split” em residências unifamiliares**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. São Paulo, 2017.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 6, p. 135-148, 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 213-230, 2014.

SCHNEIDER, M. **Public school facilities and teaching**: Washington, DC and Chicago. 21st Century School Fund, Washington D.C., 2002. Website: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED474242.pdf>.

SERRA, M. T. J. **Ruido y planeamiento urbano**: El ruído em La ciudadgestión y control. Madrid: SociedadEspañola de Acustica, 1989.

SHAHIDAN, M. F. *et al.* An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. **Building and Environment**, n. 58, p. 245-257, 2012.

SIGNOR, R. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. Originalmente apresentado como Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

SILVA, A. E. S. **Síndrome do edifício doente**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Medicina de Lisboa. Universidade de Lisboa. Lisboa, 2017.

SILVA, A. F. S. **Avaliação da qualidade ambiental interior de um edifício climatizado artificialmente, com ênfase na análise do conforto térmico**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

SILVA, A. S. **Desenvolvimento de um método para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações aplicando análise de incertezas e sensibilidade**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

SILVA, L. B. da. **Análise da relação entre produtividade e conforto térmico**: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados e cobrança da caixa econômica federal do estado de Pernambuco. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2009.

SOUSA, M. C. B. de; LEDER, S. M. Reflexões sobre terminologias utilizadas para definir o conforto térmico humano. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 10, p. e019028, 2019.

SOUZA SOARES, H. G. **As principais causas da síndrome do edifício doente relacionadas com projetos e manutenção predial**. Monografia (Especialização em Construção Civil) Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. 2008.

STOECKER, W. F.; JONES, J.W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. São Paulo: McGrawHill do Brasil, 1985.

SUN, Y.; AUGENBROE, G. Urban heat island effect on energy application studies of office buildings. **Energy and Buildings**, n. 77, p. 171-179, 2014.

TALEGHANI, Mohammad *et al.* Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands. **Energy and Buildings**, n. 67, p. 166-175, 2013.

TANABE, S. **Thermal comfort requirements in Japan**. Tese de doutorado, Wase da University, 1998.

TARTARINI, F. *et al.* **CBE Thermal Comfort Tool** : online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX* 12, 100563. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563> <http://www.cbe.berkeley.edu/>. Acesso em: 16 jun. 2020.

TAUB, S. J. Central air-conditioning system may be a public health hazard., **Eye, ear, nose & throat monthly**, v. 49, n. 6, p. 301, 1970.

TERECI, A.; OZKAN, S. T. E.; EICKER, U. Energy benchmarking for residential buildings. **Energy and Buildings**, n. 60, p. 92-99, 2013.

THAM, K. W.; WILLEM, H. C. Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 40-44, jan. 2010.

TORRES, M. G. L. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas – estudo de multicascos no nordeste brasileiro**. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEPP – do Centro de Tecnologia – CT – da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa. 2016.

TURUNEN, M. *et al.* Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. 217, p. 733, 2014.

VAN MARKEN LICHTENBELT, W. D.; KINGMA, B. R. Building and Occupant Energetics: a physiological hypothesis. **Architectural Science Review**, v. 56, n. 1, p. 48-53, fev. 2013.

VECCHI, R. de. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido**. 2015.237 f. Tese em engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.

VERNON, H.M. ; WARNER, C.G. The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *J. Hyg. Camb.*,v. 32, p. 431-462, 1932

VERSAGE, R. S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

WALLACE, L. A. Sick building syndrome. *In*: Baredana, E. J., Montanaro, A. (Eds.), **Indoor Air pollution and Health**. Marcell dekker, New York. 1997, p. 83-103.

WANG, S. K. *et al.* Professional development to enhance teachers' practices in using information and communication technologies (ICTs) as cognitive tools: lessons learned from a design-based research study. **Computers & Education**, v. 79, p. 101-115, out. 2014a.

Wan Y, et al. (2009) Role of the histone variant H2A.Z/Htz1p in TBP recruitment, chromatin dynamics, and regulated expression of oleate-responsive genes. *Mol Cell Biol* 29(9):2346-58

WANG, Z., A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin, **Building and Environment** 41 (2006) 1034–1039. Doi:10.1016/j.buildenv.2005.04.020.

WATKINSON, A. R.; GILL, J. A.; HULME, M. Flying in the face of climate change: a review of climate change, past, present and future. **Ibis**, v. 146, p. 4-10, 2004.

WEBARCONDICIONADO. **A história do ar condicionado**. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em: 02 fev. 2019.

WHO. Regional Office for Europe. **Indoor air pollutants: exposure and health effects: report on a WHO Meeting**. Copenhagen, 1983. (EURO Reports and Studies, n. 78).

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. 2007. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

XAVIER, A. A. P. Indices of Thermal Comfort Developed from Field Survey in Brazil. **ASHRAE Transactions** 2000. Atlanta: v. 106, n. 1, p. 45-58, 2000.

XAVIER, A. A. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º Grau na região de Florianópolis**. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

YU, B. F. *et al.* Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. **International Journal of Refrigeration**, v. 32, n. 1, p. 3-20, 2009.

ZHANG, F. *et al.* The effects of higher temperature setpoints during summer on office workers' cognitive load and thermal comfort. **Building and Environment**, n. 123, p. 176-188, 2017.



## APÊNDICE A

Tabela 36 – Lista das salas com os equipamentos condicionadores de ar

TÉRREO				2° ANDAR			
	ZONA	POT (W)	COP (W/W)		ZONA	POT (W)	COP (W/W)
Sala 01	DB90CA	5.655	3,01	Sala 24	EC3632	5.655	3,01
Sala 02	1CB7FD	5.655	3,01	Sala 25	31340A	5.655	3,01
Sala 03	321516	5.655	3,01	Sala 26	F93FB8	5.655	3,01
Sala 04	546E44	5.655	3,01	C. Nutri	85F9DA	5.655	3,01
Sala 05	5E1F04	5.655	3,01	Sala 27	386BC6	5.655	3,01
Sala 06	C3C829	5.655	3,01	Sala 28	3D9544	5.274	2,86
Sala 07	S7	5.655	3,01	Sala 29	92A205	5.274	2,86
Sala 08	Sgo	5.655	3,01	Sala 30	ACC494	5.655	3,01
Sala 09	Si	5.655	3,01	Sala 31	690329	5.655	3,01
Sala 10	D3DF59	5.655	3,01	Sala 32	325224	5.655	3,01
Bibliot 1	F6DDD4	5.655	3,01	ADM	273CC7	2.494	2,82
Bibliot 2	7EE871	5.274	2,65	Sala 33	ED0796	5.655	3,01
Bibliot 3	6BCEF7	5.274	2,65	Sala 34	CE4B04	5.655	3,01
	-----		-----	Sala 35	F2DAC8	5.655	3,01
	-----		-----	Sala 36	F2CFA8	5.274	2,86
	-----		-----	Sala 35A	56A942	5.274	2,86
1° ANDAR				3° ANDAR			
	ZONA	POT (W)	COP (W/W)		ZONA	POT (W)	COP (W/W)
Sala 11	F9D8D6	5.655	3,01	Sala 37	A4B78F	5.655	3,01
Sala 12	837AF8	5.655	3,01	Sala 38	54F5B3	5.655	3,01
Sala 13	9600A2	5.655	3,01	Sala 39	D9DB92	5.655	3,01
C. Ext	3F90C5	5.655	3,01	Sala 39A	ACF9BA	2494	2,82
Sala 14	E30332D	5.655	3,01	Sala 40	F2E6D4	5.655	3,01
Sala 15	98A2EE	5.274	2,65	Sala 41	13F612	5.655	3,01
Sala 16	6F5648	5.274	2,65	Sala 42	54514F	5.655	3,01
Sala 17	3A77DF	5.655	3,01	Sala 43	1CC929	5.655	3,01
Sala 18	24A159	5.655	3,01	Sala 44	3A22DA	5.655	3,01
Sala 19	24FAF6	5.655	3,01	Sala 45	9339A1	5.655	3,01
Sala 19A	F2F879	2.494	2,82	Sala 45A	AB316E	2494	2,82
Sala 20	427AD2	5.655	3,01	Sala 46	7059A5	5.655	3,01
Sala 21	577419	5.655	3,01	Sala 47	54BB1E	5.655	3,01
Sala 22	480048	5.655	3,01	Sala 48	B2CBC7	5.655	3,01
Sala 23	23E183	5.274	2,86	Sala 49	3D5A1D	2.494	2,82
Sala 23A	2EEB7B	5.655	3,01				

## APÊNDICE B

### Tabela 37 – Lista das potências das luminárias das salas

TÉRREO				2º ANDAR			
	ZONA	Quant	Pot (W)		ZONA	Quant	Pot (W)
Sala 01	DB90CA	8 lumin	320	Sala 24	EC3632	8 lumin	320
Sala 02	1CB7FD	8 lumin	320	Sala 25	31340A	8 lumin	320
Sala 03	321516	8 lumin	320	Sala 26	F93FB8	8 lumin	320
Sala 04	546E44	8 lumin	320	C. Nutri	85F9DA	8 lumin	320
Sala 05	5E1F04	8 lumin	320	Sala 27	386BC6	8 lumin	320
Sala 06	C3C829	8 lumin	320	Sala 28	3D9544	4 lumin	160
Sala 07	S7	8 lumin	320	Sala 29	92A205	4 lumin	160
Sala 08	Sgo	8 lumin	320	Sala 30	ACC494	8 lumin	320
Sala 09	Si	8 lumin	320	Sala 31	690329	8 lumin	320
Sala 10	D3DF59	8 lumin	320	Sala 32	325224	8 lumin	320
Bibliot 1	F6DDD4	8 lumin	320	ADM	273CC7	3 lumin	120
Bibliot 2	7EE871	4 lumin	160	Sala 33	ED0796	8 lumin	320
Bibliot 3	6BCEF7	4 lumin	160	Sala 34	CE4B04	8 lumin	320
	-----		-----	Sala 35	F2DAC8	8 lumin	320
	-----		-----	Sala 36	F2CFA8	4 lumin	160
	-----		-----	Sala 35A	56A942	4 lumin	160
CORREDORES				CORREDORES			
	19234C	22 lum	880		19234C	22 lum	880
1º ANDAR				3º ANDAR			
	ZONA	Quant	Pot (W)		ZONA	Quant	Pot (W)
Sala 11	F9D8D6	8 lumin	320	Sala 37	A4B78F	8 lumin	320
Sala 12	837AF8	8 lumin	320	Sala 38	54F5B3	8 lumin	320
Sala 13	9600A2	8 lumin	320	Sala 39	D9DB92	8 lumin	320
C. Ext	3F90C5	8 lumin	320	Sala 39A	ACF9BA	3 lumin	120
Sala 14	E30332D	8 lumin	320	Sala 40	F2E6D4	8 lumin	320
Sala 15	98A2EE	4 lumin	160	Sala 41	13F612	8 lumin	320
Sala 16	6F5648	4 lumin	160	Sala 42	54514F	8 lumin	320
Sala 17	3A77DF	8 lumin	320	Sala 43	1CC929	8 lumin	320
Sala 18	24A159	8 lumin	320	Sala 44	3A22DA	8 lumin	320
Sala 19	24FAF6	8 lumin	320	Sala 45	9339A1	8 lumin	320
Sala 19A	F2F879	3 lumin	120	Sala 45A	AB316E	3 lumin	120
Sala 20	427AD2	8 lumin	320	Sala 46	7059A5	8 lumin	320
Sala 21	577419	8 lumin	320	Sala 47	54BB1E	8 lumin	320
Sala 22	480048	8 lumin	320	Sala 48	B2CBC7	8 lumin	320
Sala 23	23E183	4 lumin	160	Sala 49	3D5A1D	4 lumin	160
Sala 23A	2EEB7B	4 lumin	160				
CORREDORES				CORREDORES			
	19234C	22 lum	880		19234C	22 lum	880

## APÊNDICE C

Tabela 38 – Lista das potências dos equipamentos instalados nas salas

TÉRREO				2º ANDAR			
	ZONA	Pot (W) Data show	Pot (W) Comput ador		ZONA	Pot (W) Data show	Pot (W) Computa dor
Sala 01	DB90CA	208	150	Sala 24	EC3632	208	150
Sala 02	1CB7FD	208	150	Sala 25	31340A	208	150
Sala 03	321516	208	150	Sala 26	F93FB8	208	150
Sala 04	546E44	208	150	C. Nutri	85F9DA	0	300
Sala 05	5E1F04	208	150	Sala 27	386BC6	208	150
Sala 06	C3C829	0	750	Sala 28	3D9544	208	150
Sala 07	S7	208	150	Sala 29	92A205	208	150
Sala 08	Sgo	208	150	Sala 30	ACC494	208	150
Sala 09	Si	208	150	Sala 31	690329	208	150
Sala 10	D3DF59	208	150	Sala 32	325224	208	150
Bibliot 1	F6DDD4	0	150	ADM	273CC7	0	150
Bibliot 2	7EE871	0	450	Sala 33	ED0796	208	150
Bibliot 3	6BCEF7	0	450	Sala 34	CE4B04	208	150
	-----		-----	Sala 35	F2DAC8	208	150
	-----		-----	Sala 36	F2CFA8	208	150
	-----		-----	Sala 35A	56A942	208	150
1º ANDAR				3º ANDAR			
	ZONA	Pot (W) Data show	Pot (W) Comp.		ZONA	Pot (W) Data show	Pot (W) Comp.
Sala 11	F9D8D6	208	15017	Sala 37	A4B78F	208	150
Sala 12	837AF8	208	150	Sala 38	54F5B3	208	150
Sala 13	9600A2	208	150	Sala 39	D9DB92	208	150
C. Ext	3F90C5	0	150	Sala 39A	ACF9BA	208	150
Sala 14	E30332D	208	150	Sala 40	F2E6D4	208	150
Sala 15	98A2EE	208	150	Sala 41	13F612	208	150
Sala 16	6F5648	208	150	Sala 42	54514F	208	150
Sala 17	3A77DF	208	150	Sala 43	1CC929	208	150
Sala 18	24A159	208	150	Sala 44	3A22DA	208	150
Sala 19	24FAF5	208	150	Sala 45	9339A1	208	150
Sala 19A	F2F879	0	150	Sala 45A	AB316E	208	150
Sala 20	427AD2	208	150	Sala 46	7059A5	208	150
Sala 21	577419	208	150	Sala 47	54BB1E	208	150
Sala 22	480048	208	150	Sala 48	B2CBC7	208	150
Sala 23	23E183	208	150	Sala 49	3D5A1D	208	150
Sala 23A	2EEB7B	208	150	Sala 49A	SBB6EE	208	150

## APÊNDICE D

**Tabela 39 – Lista da quantidade de ocupantes por sala**

TÉRREO			2º ANDAR		
	ZONA	Quant		ZONA	Quant
Sala 01	DB90CA	30	Sala 24	EC3632	60
Sala 02	1CB7FD	30	Sala 25	31340A	60
Sala 03	321516	30	Sala 26	F93FB8	60
Sala 04	546E44	30	C. Nutri	85F9DA	5
Sala 05	5E1F04	30	Sala 27	386BC6	60
Sala 06	C3C829	15	Sala 28	3D9544	60
Sala 07	S7	30	Sala 29	92A205	60
Sala 08	Sgo	30	Sala 30	ACC494	60
Sala 09	Si	30	Sala 31	690329	60
Sala 10	D3DF59	30	Sala 32	325224	60
Bibliot 1	F6DDD4	5	ADM	273CC7	5
Bibliot 2	7EE871	15	Sala 33	ED0796	30
Bibliot 3	6BCEF7	15	Sala 34	CE4B04	60
	-----		Sala 35	F2DAC8	60
	-----		Sala 36	F2CFA8	30
	-----		Sala 35A	56A942	30
CORREDORES			CORREDORES		
	19234C	30		19234C	30
1º ANDAR			3º ANDAR		
	ZONA	Quant		ZONA	Quant
Sala 11	F9D8D6	60	Sala 37	A4B78F	30
Sala 12	837AF8	60	Sala 38	54F5B3	30
Sala 13	9600A2	60	Sala 39	D9DB92	30
C. Ext	3F90C5	5	Sala 39A	ACF9BA	15
Sala 14	E30332D	60	Sala 40	F2E6D4	30
Sala 15	98A2EE	60	Sala 41	13F612	30
Sala 16	6F5648	60	Sala 42	54514F	60
Sala 17	3A77DF	30	Sala 43	1CC929	60
Sala 18	24A159	30	Sala 44	3A22DA	60
Sala 19	24FAF6	30	Sala 45	9339A1	60
Sala 19A	F2F879	5	Sala 45A	AB316E	15
Sala 20	427AD2	30	Sala 46	7059A5	60
Sala 21	577419	30	Sala 47	54BB1E	60
Sala 22	480048	30	Sala 48	B2CBC7	60
Sala 23	23E183	30	Sala 49	3D5A1D	60
Sala 23A	2EEB7B	30			
CORREDORES			CORREDORES		
	19234C	30		19234C	30



3																	
Masculino			Feminino									Masculino					
			0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
			0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.04	0.04										0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		
		0.15						0.15									
		0.19					0.19		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
			0.25														
												0.25					
											0.08	0.08	0.08	0.08	0.08		
0.02	0.02		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
		0.02					0.02										
0.48	0.51		0.55	0.49	0.8	0.45	0.55	0.7	0.49	0.51	0.52	0.49	0.49	0.49	0.55	0.57	0.49



6													5															
Feminino						Masculino						Feminino						Masculino										
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03							0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03		
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01							0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04
						0.04	0.04	0.04	0.04	0.04																		
0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
		0.25									0.25																	
0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
0.02						0.02	0.02	0.02	0.02	0.02																		
0.51	0.55	0.49	0.49	0.49	0.49	0.51	0.52	0.55	0.49	0.49	0.33	0.49	0.49	0.45	0.55	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.66	0.7	0.49

7																				
Feminino								Masculino												
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03													
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01													
								0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04						
0.25		0.25																		
								0.08												
0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24													
0.02	0.02		0.02																	
		0.02																		
0.55	0.49	0.55	0.49	0.74	0.49	0.55	0.44	0.33	0.74	0.51	0.49	0.49	0.45	0.8	0.76	0.49	0.45	0.52	0.49	0.47



6						8																	
Feminino						Masculino						Feminino											
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03							0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01							0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
						0.04	0.0	0.04	0.04	0.04													
						0.5				0.15													
	0.19	0.19		0.19	0.19		0.1	0.19	0.19	0.19	0.19										0.19	0.19	0.19
0.25												0.25				0.25							
										0.08													0.08
	0.15				0.15											0.15							
0.24		0.24	0.24			0.24	0.2	0.24	0.24	0.24	0.28	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
0.02	0.02		0.02	0.02	0.02							0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
			0.02			0.02		0.02	0.02	0.02	0.02										0.02	0.02	0.02
							0.1																
							0.0	0.03													0.03		
0.55	0.4	0.49	0.45	0.48	0.65	0.8	0.6	0.52	0.29	0.55		0.55	0.55	0.49	0.49	0.49	0.49	0.51	0.52	0.47	0.06	0.49	0.49



12												11											
Feminino												Masculino											
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
												0.04	0.04								0.04	0.04	
0.19		0.19	0.19							0.19	0.19	0.19	0.19								0.15	0.15	
	0.25									0.25	0.25	0.25	0.25										
													0.08									0.15	
0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	
0.02		0.02	0.02							0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
0.02		0.02	0.02																				
0.51	0.55	0.51	0.49	0.55	0.55	0.55	0.8	0.49	0.52	0.49	0.58	0.49	0.49	0.49	0.49	0.33	0.49	0.49	0.49	0.49	0.52	0.49	

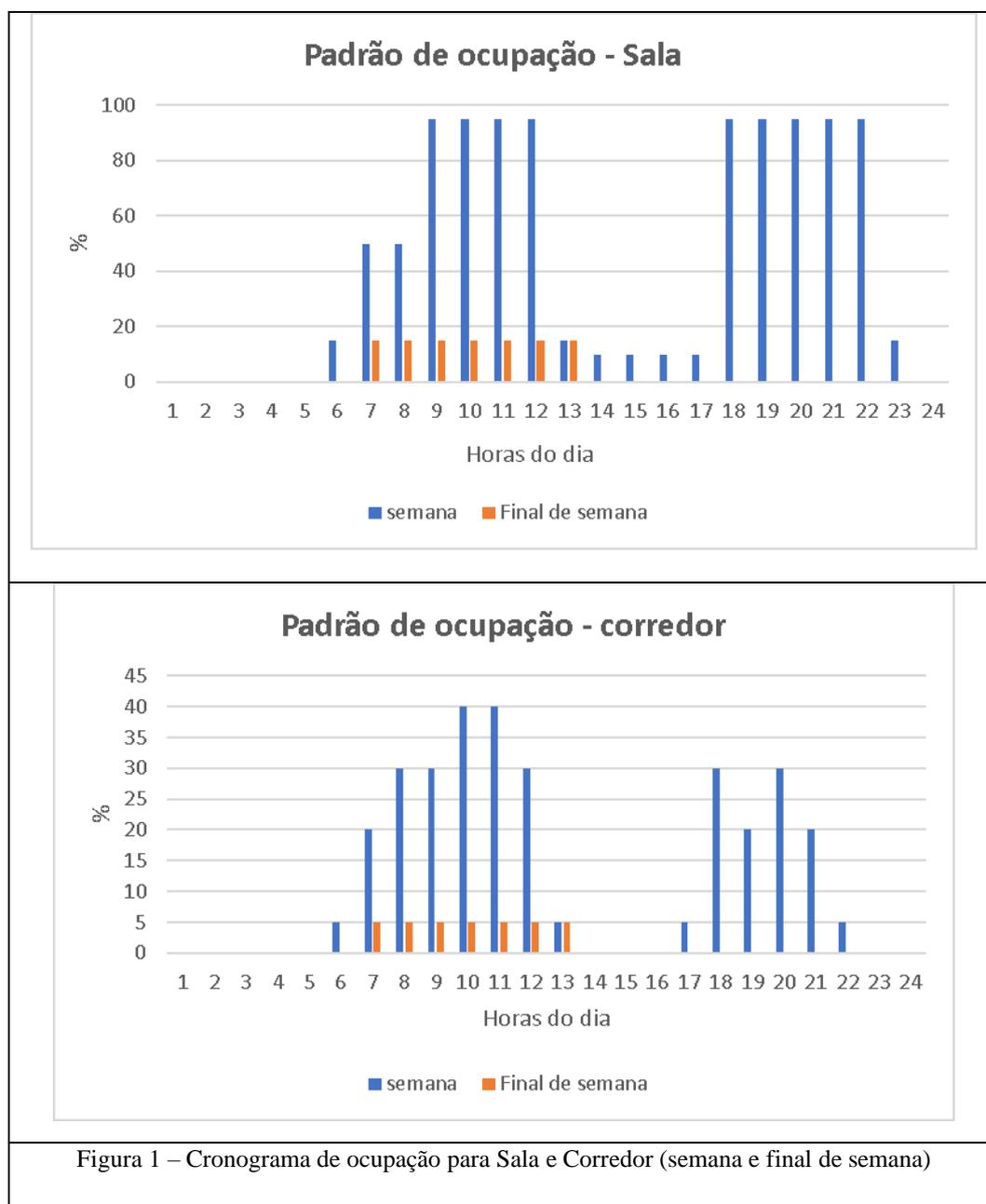


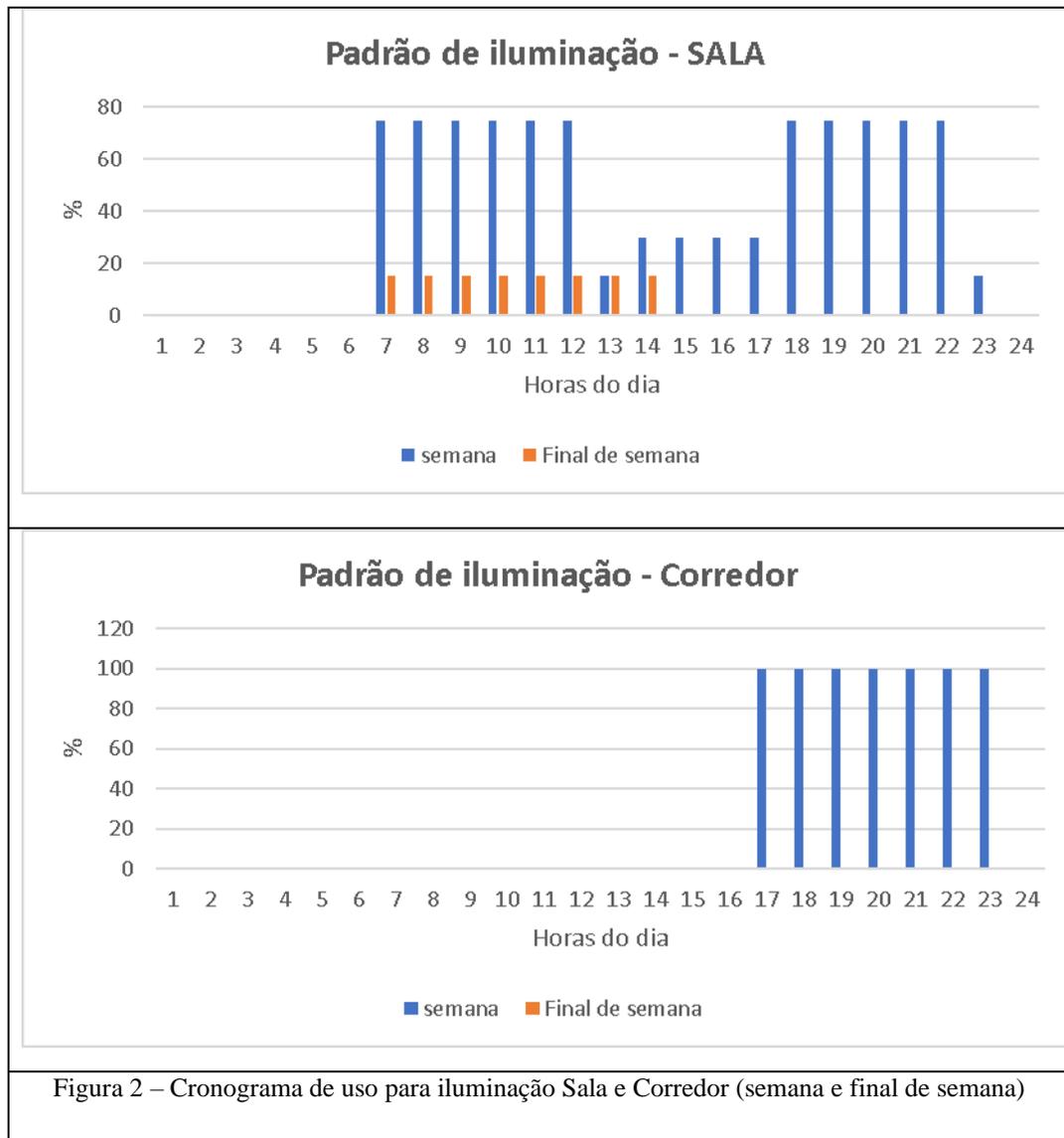




## APÊNDICE F

Padrão de ocupação, iluminação, equipamentos instalados, ar-condicionado, elevador, taxa de infiltração e atividade, para os dias letivos e para os finais de semana





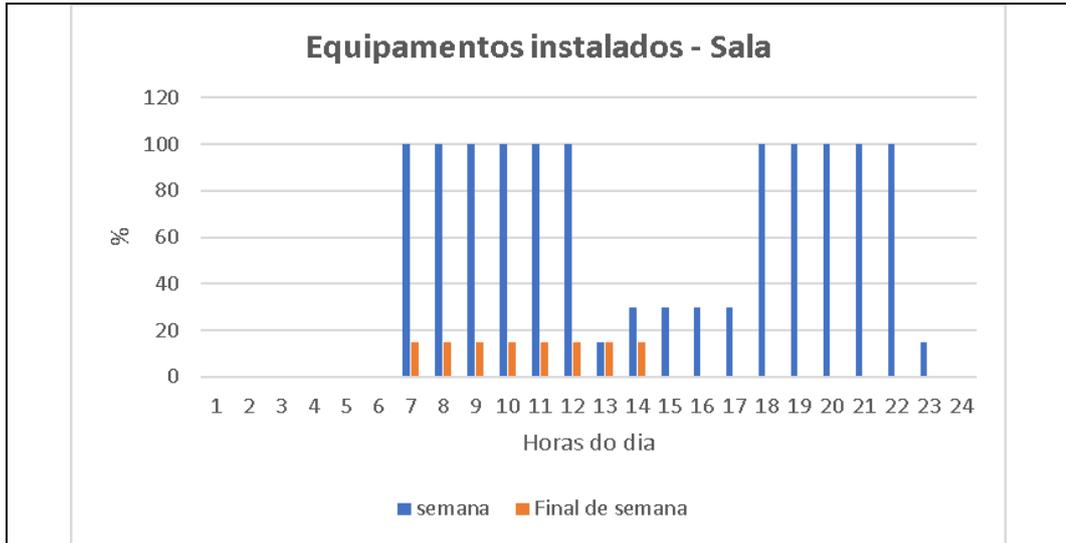


Figura 3 – Cronograma de uso para equipamentos instalados- Sala (semana e final de semana)

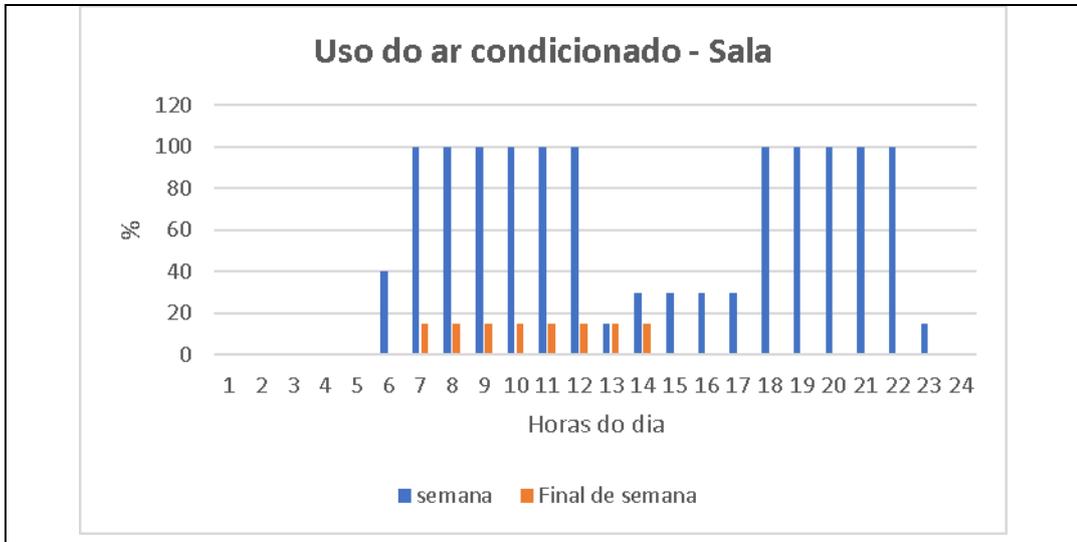
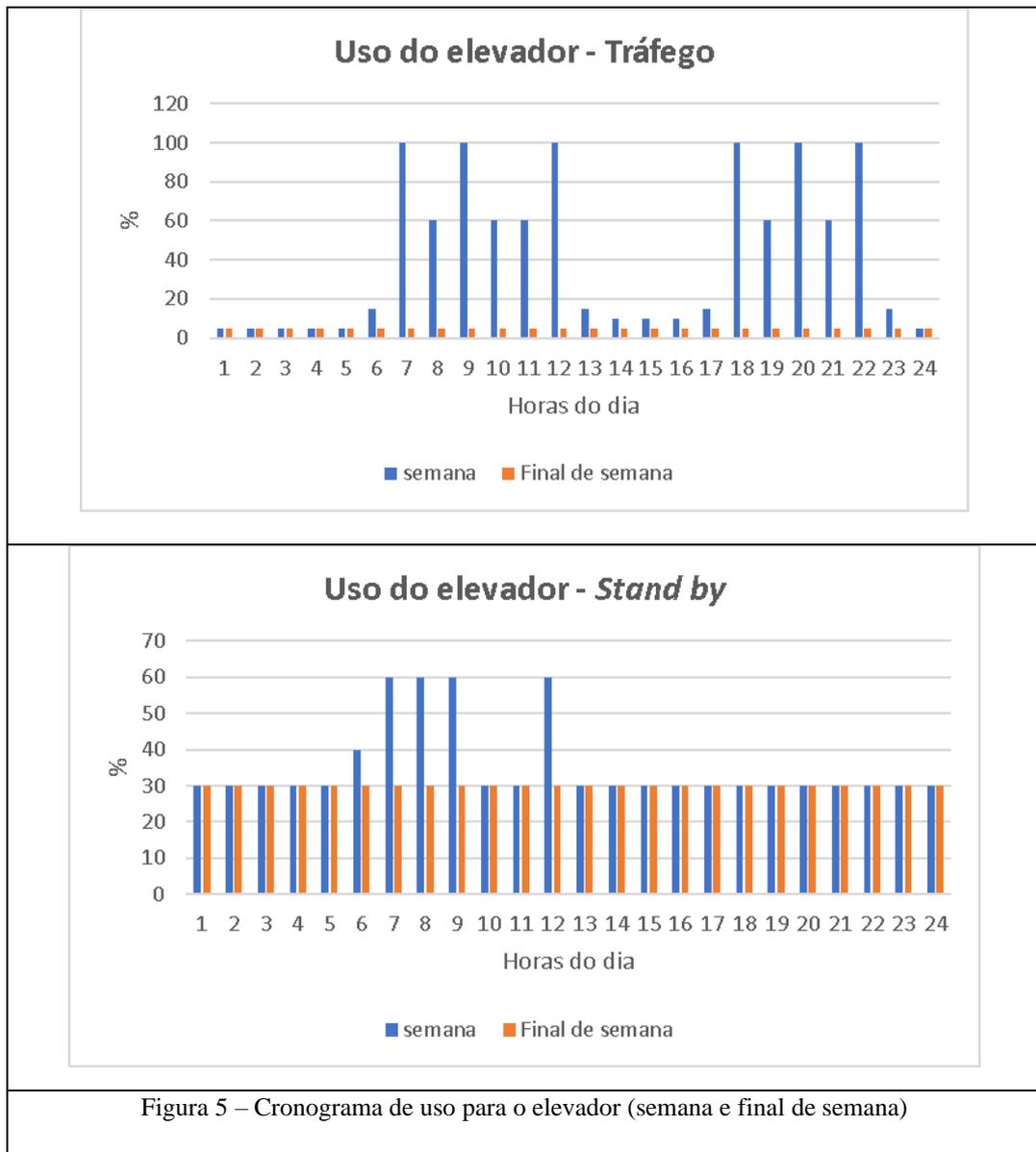


Figura 4 – Cronograma de uso ar condicionado - Sala (semana e final de semana)



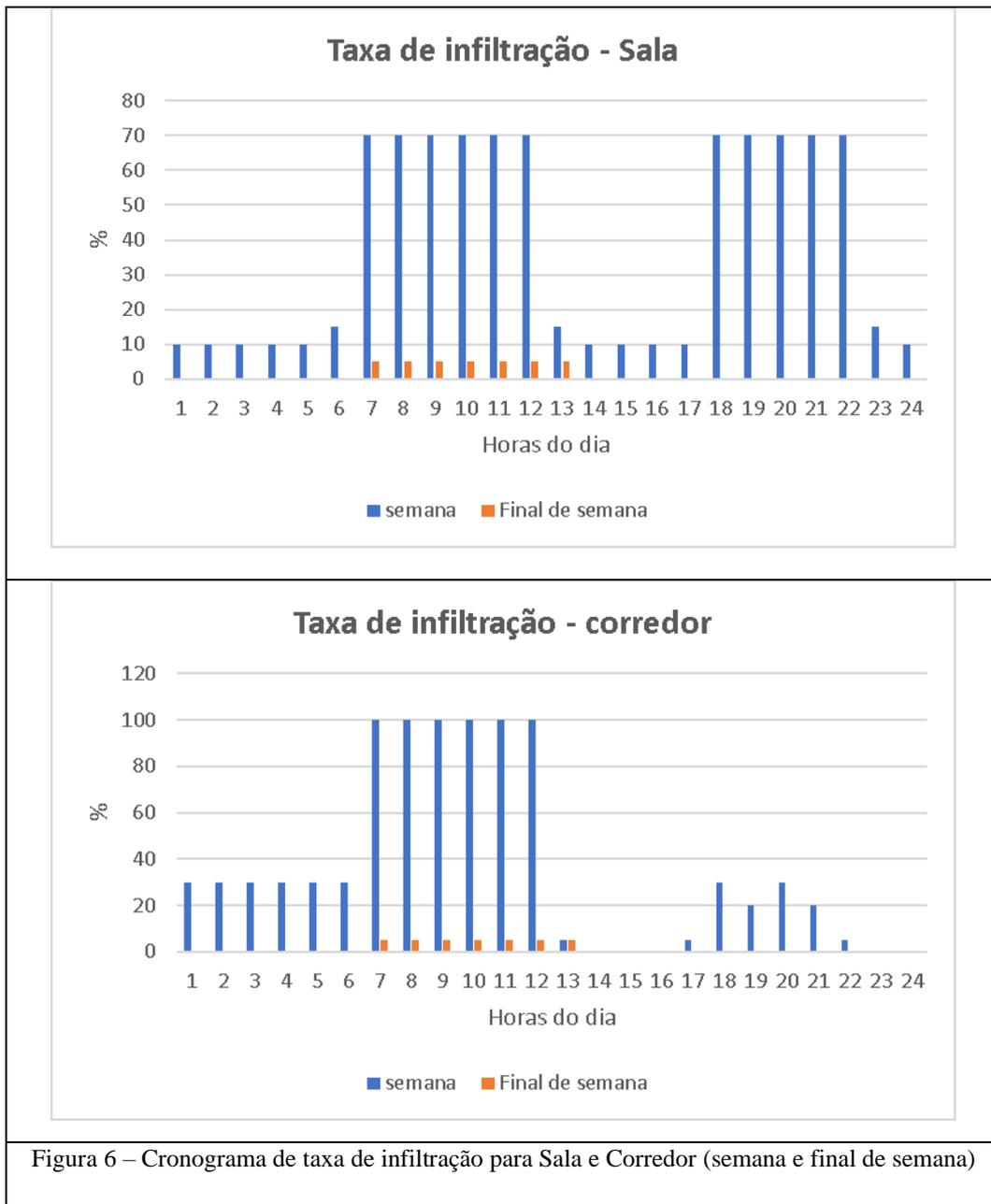


Figura 6 – Cronograma de taxa de infiltração para Sala e Corredor (semana e final de semana)

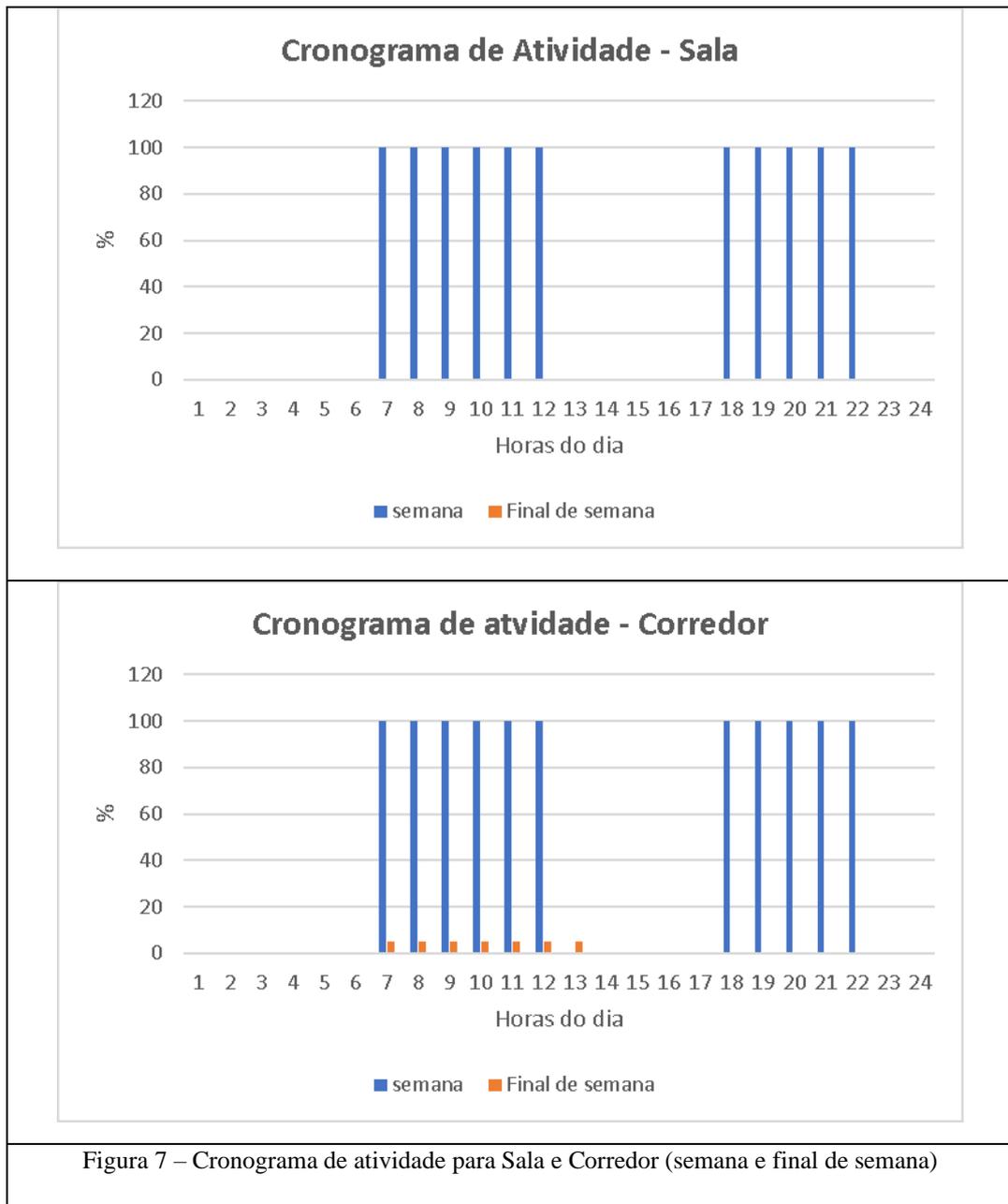


Figura 7 – Cronograma de atividade para Sala e Corredor (semana e final de semana)





## ANEXO 1



## Companhia Energetica de Alagoas

Av. Fernandes Lima, 3349  
Gruta de Lourdes - Maceió - AL - CEP: 57.052-902  
CNPJ: 12.272.084/0001-00 IE: 24007177-8

Atendimento: 0800 082 0196 [www.equatorialalagoas.com.br](http://www.equatorialalagoas.com.br)  
Ouvidoria: 0800 721 0082 (horário comercial)

A Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela Lei nº 10.438, 26 de abril de 2002  
Nota Fiscal / Conta de Energia Elétrica - Série U - Nº 22532604

Regime especial de Imposto autorizado pela Sec. de Fazenda

Segunda Via

SOCIEDADE DE EDUCACAO TIRADENTES LTDA CAMPUS AMELIA M C U  
AV CDOR GUSTAVO PAIVA, 5017

MANGABEIRAS -

CEP 57.032-901 - MACEIO - AL

CNPJ 13.013.263/0010-78

Roteiro: 001.93.10.008200

Para contato com a empresa,  
Informe este número

Código Único

0976897-1

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - Fone 167 - Ligação Gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares							
Emissão	Data Leitura Anterior	Data Leitura Atual	Data Próxima Leitura	Dias de Consumo	Apresentação	Mês Faturado	
04/07/2019	31/05/2019	30/06/2019	31/07/2019	30	05/07/2019	06/2019	
Cod. Fat.	Classo/Subclasso	Ligação	Posto	Forma Faturamento	Motivo FD	Número FD	
3.1.31.4	Comercio	Alta Tensao	S 1 04 512	Normal			
Consumo	Medidor	Leit. Atual	Leit. Anterior	Constante Fatur.	NPL	Cons. Medido	Cons. Faturado
	26130837		2628536	0,25200	10		
Demanda				1,00800	6		
						D. Cida Pla: 1000	D. Cida F.Pla: 1000

Histórico	KWh	Composição da Tarifa	Itens Faturados	Tar. sem impostos	Valor
05/2019	220498	TUSD (*)	Consumo Ponta 7.702 kWh a 2,201257	1,486290	16.954,08
04/2019	199186	TE (*)	Demanda 1.000 kW a 16,790094	15,870000	16.790,09
03/2019	196218	Transmissão	En R Exc Ponta 24 kWh a 0,342298	0,231120	8,21
02/2019	170210	Encargos	Consumo F/Ponta 117.692 kWh a 0,425932	0,287590	50.128,78
01/2019	114671	Tributos	En R Exc F/Ponta 545 kWh a 0,342298	0,231120	186,55
12/2018	115786		Contribuição de Iluminação Pública (COSIP)		316,07
11/2018	197438		Pacoep - 1345,55		
10/2018	205488				
09/2018	179570				
08/2018	183861				
07/2018	120059				
06/2018	155172				
Média		Pis 0,9800 % - 823,86			
12 meses	2966	Cofins 4,5000 % - 3783,04			

Indicadores de Continuidade: 04/2019				
Cj:	Mensal	Realizado	Trimestral	Anual
306 - SE CRUZ DAS ALMAS	4,22	0,00	8,45	16,91
DIC	2,85	0,00	5,70	11,40
DMIC	2,71	0,00	0,00	0,00

=> Tensão Contratada - 13800V Faixa Adequada - 13 a 14KV  
=> Ligue para 0800 082 0196 e faça opção de vencimento de sua conta 3 8 13 18 23 28

=> As informações sobre as condições gerais de fornecimento, tarifas, produtos, serviços prestados e tributos se encontram à disposição dos consumidores, para consulta, nos postos de atendimento e na página da internet desta distribuidora.

Base de Cálculo	Alíquota	Valor do ICMS	Vencimento	Valor a Pagar
67.277,62	27,00	18.164,95	28/07/2019	R\$ 84.383,78
Reservado ao Fisco 75CA.18BC.04A2.63C6.B42D.C771.9BC8.688A				



Facilite sua vida! Evite filas e multas! Autorize o  
débito de sua conta de energia em sua conta bancária.  
Código para débito automático: 0976897-1

## Companhia Energetica de Alagoas

UC	Mês Faturado	No. FD	TC	Vencimento	Valor a Pagar
09768971	06/2019	00	6	28/07/2019	R\$ 84.383,78

8360000843 0 83780003000 4 00000000976 1 89710619006 8



## ANEXO 2



Centro Universitário Tiradentes

Autorizada pela Portaria Ministerial nº 795, de 11/09/2014

## Declaração de Autorização de Pesquisa a ser realizada na Unif/AL

Ao Comitê de Ética em Pesquisa - CEP  
Centro Universitário Tiradentes - UNIT

Declaramos, a fim de viabilizar a execução do projeto de pesquisa intitulado "LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO PARA USUÁRIOS DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES TÉRMICAS DO AMBIENTE", sob a responsabilidade do(s) pesquisador(es) Prof. Mara Rúbia Araújo Holanda, Delson Frederico Tavares e Maxsilane Maria de Oliveira Caetano que a Instituição autoriza a realização da pesquisa no espaço do Centro Universitário Tiradentes, e que o (a) pesquisador (a) responsável assume exclusivamente a responsabilidade de fazer cumprir os Termos da Resolução nº 466/12, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde e demais resoluções complementares à mesma (240/97, 251/97, 292/99, 303/2000, 304/2000, 340/2004, 346/2005 e 347/2005), além de zelar para que o pesquisador cumpra os objetivos do projeto, por meio do acompanhamento do curso de origem do(s) pesquisador(es) e relatório semestral enviado ao CEP/UNIT por meio da Plataforma Brasil.

De acordo e ciente,

Maceió, 16 de agosto de 2019

Prof. Dra. Daniela do Carmo Kabengele  
Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Extensão do Centro Universitário Tiradentes –  
Unif/AL

*Obs.: Cada Instituição envolvida no projeto de pesquisa deverá apresentar esta declaração em separado.*

V2\_14nov13

## ANEXO 3

## Solicitação de autorização de Pesquisa de doutorado a ser realizada na Unit/AL

Ao Magnífico Reitor Prof. Dario Arcaño  
Centro Universitário Tiradentes - UNIT

Solicito, a fim de viabilizar a execução da pesquisa de doutorado, intitulado " INFLUÊNCIA DA DEFINIÇÃO DO SETPOINT DO AR-CONDICIONADO NO CONSUMO DE ENERGIA EM AMBIENTES ESCOLARES LOCALIZADAS EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO", sob a responsabilidade do(s) pesquisador(es) Prof. Mara Rúbia Araújo Holanda, a autorização formal para que o DIM - Departamento de Infraestrutura e Manutenção, possa repassar as informações necessárias ao desenvolvimento do estudo proposto. A pesquisa necessita de dados que alimentem o *software* de simulação computacional, tais como: fotos da construção dos blocos de salas de aula e comprovação do valor cobrado para o kwh na conta de energia elétrica da Instituição. A pesquisa terá como objetivo verificar o impacto da definição da temperatura interna (*setpoint*) em ambientes escolares condicionados, no consumo energético para o clima quente e úmido, sendo assim, necessários alguns dados sobre a edificação estudada.

Att.:

Mara Rúbia Araújo Holanda  
(Mara Rúbia Araújo Holanda)

Maceió, 09 de agosto de 2019

Autorizado  
Dario Arcaño  
Reitor  
Centro Universitário Tiradentes - UNIT  
Em, 14/08/19

## ANEXO 4



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Levantamento e análise das condições de conforto térmico para usuários de edificações escolares de acordo com as condições térmicas do ambiente.

**Pesquisador:** Mara Rúbia

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 21590719.0.0000.5641

**Instituição Proponente:** SOCIEDADE DE EDUCACAO TIRADENTES S/S LTDA

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 3.675.128

#### Apresentação do Projeto:

O estudo será desenvolvido através de uma metodologia que utilizará instrumentos de medição de variáveis ambientais com aplicação de questionários e entrevistas. O estudo tem como base o isolamento de algumas variáveis físicas pessoais, como: sexo, vestimenta e idade, facilitando por isso, a investigação em salas de aula, que em geral apresentam um público mais ou menos uniforme. A distribuição dos usuários, pela identificação das variáveis citadas, será feita através da identificação manual num mapa da distribuição e localização dos ocupantes na sala, utilizando siglas (P1, P2, P3...). Essas, informarão os pontos (Ponto 1, Ponto 2, Ponto 3...) de medição das variáveis ambientais (temperatura, umidade e velocidade do vento). As atividades serão iniciadas após um período de aclimação dos alunos em sala de aula (cerca de 15 minutos). Após, será distribuído um questionário (virtual ou impresso, a depender das condições de acesso ao sistema) nas quais o usuário será indagado sobre suas preferências as sensações térmicas de conforto para aquele ambiente naquele momento em que está utilizando o local. Em paralelo, um pesquisador fará as medições das variáveis ambientais locais para que as respostas sejam

**Endereço:** Av. Gustavo Palva, 5017, Sala 2/ Bloco A  
**Bairro:** Campus Amélia Uchôa **CEP:** 57.038-000  
**UF:** AL **Município:** MACEIO  
**Telefone:** (82)3311-3113 **E-mail:** cep@al.unit.br