

Mônica Ferreira da Silva

**Estratégias
bioclimáticas
para seis cidades
alagoanas**

**Contribuições para a adequação
da arquitetura ao clima local**

Universidade Federal de Alagoas
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Orientador:
Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Coorientadora:
Gianna Melo Barbirato

Maceió, 2019

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

MÔNICA FERREIRA DA SILVA

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA SEIS CIDADES ALAGOANAS:
Contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local

Maceió, 2019

MÔNICA FERREIRA DA SILVA

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA SEIS CIDADES ALAGOANAS:

Contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local

Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa

Coorientadora: Prof^a Dra. Gianna Melo Barbirato

Maceió, 2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

- S587e Silva, Mônica Ferreira da.
Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas : contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local / Mônica Ferreira da Silva. – 2019.
185 f. : il. color.
- Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.
Co-orientadora: Gianna Melo Barbirato.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2019.
- Bibliografia: f. 151-157.
Apêndices: f. 158-185.
1. Bioclimatologia. 2. Dados climáticos horários. 3. Classificação climática. 4. 5. Método de Mahoney Nebuloso. 6. Planejamento urbano – Fatores climáticos.
I. Título.

CDU: 551.586

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

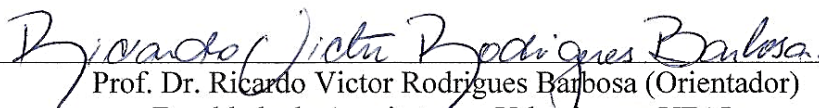
MÔNICA FERREIRA DA SILVA

**ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA SEIS CIDADES ALAGOANAS:
Contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local**

Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA em 10/05/2019

BANCA EXAMINADORA

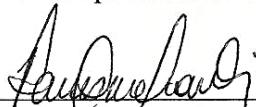

Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa (Orientador)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



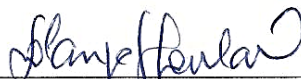
Profª Drª Gianna Melo Barbirato (Coorientadora)
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



Profª Drª Juliana Oliveira Batista (Examinadora Interna)
Faculdade de Arquitetura e urbanismo - UFAL



Prof. Dr. Fernando Antônio de Melo Sá Cavalcanti
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL



Profª Drª Solange Virginia Galarca Goulart
Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UFRN

A Deus.

A minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de estudos que me permitiu estudar longe de casa.

À Isa Rezende, Anderson Bier e Washington Filho pela solicitude em ceder arquivos que contribuíram para esta pesquisa.

Ao pessoal do GATU-Maceió, sobretudo a Camila Sirqueira e a André Maia, pela simpatia. Aos meus colegas de turma pelas risadas, reflexões e caronas. E a todos os professores pelo conhecimento compartilhado, paciência e entusiasmo.

À prof^a Simone Romão por acreditar em mim e se dispor a me ajudar com meu plano de mestrado. Ao prof. Odair Moraes pela paciência e disposição em ajudar quem busca o seu conhecimento, no meu caso, sobre as teorias nebulosas. Aos profs. Juliana Batista, Solange Goulart e Fernando Cavalcanti pelas contribuições para a evolução deste estudo.

À prof^a Gianna Barbirato pela coorientação, pela enorme disposição em ajudar e por me abraçar, literal e figurativamente, sempre que precisei. Ao prof^o e eterno orientador Ricardo Victor por ser o principal responsável pela minha evolução enquanto pesquisadora nos últimos 7 anos (!).

Às amigadas que nasceram do mestrado. Thaysa Gabriela, o rosto arapiraquense que eu precisava ver na turma e companheira de longas viagens. Jéssica de Paula, meigs das viagens curtas, companheira de db's e ninja nas horas vagas. Obrigada, meninas, pela parceria e inspiração!

Às antigas amigadas que seguem firmes. Obrigada, Egbely, Jéssica e Kamila pela torcida de sempre. Obrigada, Chaiane e Flávia, pelos incentivos e companheirismo e, principalmente, obrigada, Ana Maria e Dayany, por compartilharem esse percurso comigo e ouvirem com bom humor as minhas bobagens. Nos últimos dois anos, cada uma teve que enfrentar suas próprias batalhas, mas a união nos fez mais fortes.

Gratidão especial aos meus pais, Maria e Ivo, por, literalmente, madrugarem, enfrentarem sol e chuva e não pouparem esforços para que eu alcançasse meu objetivo. Ao meu irmão, Paulo, pelos conselhos e incentivo. Amo vocês!

Sobretudo, gratidão a Deus por tudo que foi citado.

“Não te mandei eu? Esforça-te e tem bom ânimo. Não te atemorizes, nem te espantes, porque o Senhor teu Deus está contigo por onde quer que andares”. Josué, 1:9

“Tudo o que a casa almeja é a mirada agradecida do dono, que lhe reconheça a serventia. Quem, senão ela, garante-lhe a intimidade amorosa, a exaltação dos sentidos, o calor que emana das entranhas dos seus tijolos”.

(Nélida Piñon, 1998)¹

¹ Trecho da crônica *O mistério da casa* publicada no jornal O Estado de São Paulo, em 11 de abril de 1998, citado por Jorge Marão Carnielo Miguel no artigo *Casa e lar: a essência da arquitetura* publicado em outubro de 2002, disponível em: <<http://www.mobile.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/03.029/746>>

RESUMO

O conhecimento do perfil climático de uma localidade é fundamental para subsidiar a formulação de recomendações projetuais que busquem a adequação das edificações às condições climáticas locais por meio da bioclimatologia. O presente estudo sintetiza estratégias bioclimáticas recomendáveis ao planejamento arquitetônico em seis cidades alagoanas, com vistas à obtenção de conforto térmico e eficiência energética no espaço habitado. Os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa consistiram em quatro etapas: definição das cidades a serem estudadas; obtenção, tratamento e a análise dos dados climáticos brutos de cada cidade; determinação das estratégias bioclimáticas a partir da Carta Bioclimática de Givoni e do Método de Mahoney Nebuloso; e, por fim, síntese das recomendações projetuais para as cidades em estudo. A seleção das cidades a serem analisadas considerou a localização das mesmas, assim como a disponibilidade de seus dados climáticos horários, sendo escolhidas as cidades de Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e São Luís do Quitunde. As informações climáticas das cidades corresponderam dados climáticos horários coletados por estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia instaladas nos respectivos municípios referentes ao período de 2009 a 2018. O tratamento dos dados consistiu em três etapas: verificação da consistência dos dados, obtenção de indicadores de descrição climática e determinação do Ano Climático de Referência de cada local. O exame dos dados revelou que as quantidades de lacunas variam bastante entre as cidades, sendo a precipitação a variável que mais sofre com a falta de dados. A análise dos indicadores climáticos evidenciou as semelhanças e particularidades climáticas entre as cidades. Os Anos Climáticos de Referência e os dados médios das cidades embasaram as recomendações projetuais obtidas por meio da Carta de Givoni e pelo Método de Mahoney Nebuloso, respectivamente. As principais diferenças nas estratégias bioclimáticas indicadas para as cidades foram referentes ao tamanho e posição das aberturas, ao espaçamento entre as edificações e à necessidade de proteção contra chuvas intensas. O emprego de alta inércia térmica em paredes é a estratégia que requer maior atenção devido à indefinição das metodologias. Concluiu-se que há a necessidade de aprimoramento do Método de Mahoney Nebuloso no que se refere ao Quadro III. Por fim, o presente trabalho auxilia os projetistas na escolha de estratégias bioclimáticas adequadas ao planejamento arquitetônico nas seis cidades alagoanas estudadas.

Palavras-chave: Alagoas. Dados climáticos horários. Caracterização climática. Carta Bioclimática de Givoni. Método de Mahoney Nebuloso.

ABSTRACT

Knowledge of the climatic profile of a locality is essential to support the formulation of project recommendations that seek the adaptation of buildings to local climatic conditions through bioclimatology. This study summarizes bioclimatic strategies recommended for architectural planning in six cities in Alagoas, with a view to obtaining thermal comfort and energy efficiency in the inhabited space. The methodological procedures adopted in this research consisted of four stages: definition of the cities to be studied; obtaining, treating and analyzing the raw climate data of each city; determination of bioclimatic strategies based on the Givoni Bioclimatic Chart and the Fuzzy Mahoney's Method; and, finally, synthesis of the project recommendations for the cities under study. The selection of the cities to be analyzed considered their location, as well as the availability of their hourly climate data, being chosen the cities of Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar and São Luís do Quitunde. The climatic information of the cities corresponded to hourly climatic data collected by automatic meteorological stations of the National Institute of Meteorology installed in the respective municipalities for the period from 2009 to 2018. The treatment of the data consisted of three stages: verification of the consistency of the data, obtaining indicators of climate description and determination of the Test Reference Year of each location. The examination of the data revealed that the quantities of gaps vary greatly between the cities, with precipitation being the variable that suffers most from the lack of data. The analysis of climate indicators highlighted the similarities and particularities of climate between cities. The Test Reference Years and the average data from the cities underpinned the project recommendations obtained through the Givoni Chart and the Fuzzy Mahoney's Method, respectively. The main differences in the bioclimatic strategies indicated for the cities were related to the size and position of the openings, the spacing between the buildings and the need for protection against intense rainfall. The use of high thermal inertia in walls is the strategy that requires more attention due to the lack of definition of the methodologies. It was concluded that there is a need for improvement of the Fuzzy Mahoney's Method in relation to Table III. Finally, this paper assists designers in choosing bioclimatic strategies suitable for architectural planning in the six cities studied in Alagoas.

Keywords: Alagoas. Climatic hourly data. Climate characterization. Givoni Bioclimatic Chart. Fuzzy Mahoney's Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquematização da estrutura da dissertação	23
Figura 2 – Representação do sistema climático global.....	24
Figura 3 – Mapa mundial da classificação climática de Köppen-Geiger	25
Figura 4 – Mapa brasileiro da classificação climática de Nimer.....	26
Figura 5 – Zonas climáticas mundiais e do Brasil.....	29
Figura 6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro	31
Figura 7 – Exemplos de Carta Bioclimática de Olgyay para de regiões de clima quente.....	38
Figura 8 – Carta Psicrométrica e as relações entre temperatura e umidade (à esquerda) e Carta Bioclimática adotada para o Brasil e suas zonas (à direita)	39
Figura 9 – Esquematização da metodologia da dissertação	42
Figura 10 – Localização do estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil.....	42
Figura 11 – Localização das cidades alagoanas selecionadas para estudo.....	43
Figura 12 – Carta Bioclimática de Givoni gerada pelo programa Analysis BIO	50
Figura 13 – Representação esquemática do MMT e do MMN	51
Figura 14 – Conjuntos nebulosos para a definição dos Rigores Térmicos no MMN.....	55
Figura 15 – Mesorregiões do estado de Alagoas.....	61
Figura 16 – Relevo do estado de Alagoas	62
Figura 17 – Tipos Climáticos de Alagoas – Classificação climática de Köppen	63
Figura 18 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Arapiraca.....	64
Figura 19 – Características urbanas e habitacionais de Arapiraca	65
Figura 20 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Coruripe	66
Figura 21 – Características urbanas e habitacionais de Coruripe	67
Figura 22 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Maceió	68
Figura 23 – Características urbanas e habitacionais de Maceió	69
Figura 24 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Palmeira dos Índios.....	70

Figura 25 – Características urbanas e habitacionais de Palmeira dos Índios	71
Figura 26 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Pão de Açúcar	72
Figura 27 – Características urbanas e habitacionais de Pão de Açúcar	73
Figura 28 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de São Luís do Quitunde	74
Figura 29 – Características urbanas e habitacionais de São Luís do Quitunde	75
Figura 30 – Carta Bioclimática de Arapiraca com dados do ano de 2010 (TRY).....	82
Figura 31 – Carta Bioclimática de Coruripe com dados do ano de 2014 (TRY)	93
Figura 32 – Carta Bioclimática de Maceió com dados do ano de 2018 (TRY)	104
Figura 33 – Carta Bioclimática de Palmeira dos Índios com dados do ano de 2010 (TRY)..	115
Figura 34 – Carta Bioclimática de Pão de Açúcar com dados do ano de 2015 (TRY)	127
Figura 35 – Carta Bioclimática de São Luís do Quitunde com dados do ano de 2016 (TRY)	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Somatório das horas com dados inexistentes durante o período de 2009 a 2018...	46
Tabela 2 – Anos selecionados para análise de ventilação	48
Tabela 3 – Quadro I do Método de Mahoney Tradicional	52
Tabela 4 – Determinação do Grupo de Umidade do MMT.....	53
Tabela 5 – Quadro I do Método de Mahoney Nebuloso	53
Tabela 6 – Carta para os Limites de Conforto (adaptada de Alucci, Carneiro e Baring, 1986) do MMT.....	55
Tabela 7 – Definição das recomendações construtivas pelo MMT.....	58
Tabela 8 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Arapiraca-AL.....	82
Tabela 9 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) - Arapiraca.....	83
Tabela 10 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) - Arapiraca	84
Tabela 11 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) - Arapiraca	84
Tabela 12 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Coruripe-AL	94
Tabela 13 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) - Coruripe	95
Tabela 14 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) - Coruripe.....	95
Tabela 15 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) - Coruripe.....	96
Tabela 16 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Maceió-AL.....	105
Tabela 17 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) - Maceió	106
Tabela 18 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) - Maceió.....	106
Tabela 19 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) - Maceió	107
Tabela 20 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Palmeira dos Índios-AL.....	116
Tabela 21 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) – Palmeira dos Índios	117
Tabela 22 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) – Palmeira dos Índios	117

Tabela 23 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) – Palmeira dos Índios	118
Tabela 24 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Pão de Açúcar-AL	127
Tabela 25 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) – Pão de Açúcar	128
Tabela 26 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) – Pão de Açúcar ..	129
Tabela 27 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) – Pão de Açúcar	129
Tabela 28 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para São Luís do Quitunde-AL.....	139
Tabela 29 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) – São Luís do Quitunde	140
Tabela 30 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) – São Luís do Quitunde	140
Tabela 31 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) – São Luís do Quitunde	141
Tabela 32 – Síntese dos dados médios anuais das seis cidades estudadas	144
Tabela 33 – Percentuais de dados faltantes em Arapiraca (%).....	158
Tabela 34 – Percentuais de dados faltantes em Coruripe (%)	159
Tabela 35 – Percentuais de dados faltantes de temperatura do ar em Maceió (%)	160
Tabela 36 – Percentuais de dados faltantes em Palmeira dos Índios (%).....	161
Tabela 37 – Percentuais de dados faltantes em Pão de Açúcar (%)	162
Tabela 38 – Percentuais de dados faltantes em São Luís do Quitunde (%)	163
Tabela 39 – Temperaturas médias mensais de Arapiraca.....	164
Tabela 40 – Temperaturas médias mensais de Coruripe	165
Tabela 41 – Temperaturas médias mensais de Maceió	166
Tabela 42 – Temperaturas médias mensais de Palmeira dos Índios.....	167
Tabela 43 – Temperaturas médias mensais de Pão de Açúcar	168
Tabela 44 – Temperaturas médias mensais de São Luís do Quitunde	169

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização dos climas tropicais.....	27
Quadro 2 – Equivalência de nomenclatura entre propostas de zoneamento bioclimático brasileiro.....	32
Quadro 3 – Diferenças entre as propostas de zoneamento bioclimático feitas pela ANTAC ..	33
Quadro 4 – Localização e data de instalação das estações meteorológicas do INMET em Alagoas.....	43
Quadro 5 – Período de abrangência do banco de dados de cada cidade estudada	44
Quadro 6 – Remodelagem dos parâmetros do MMT no MMN	54
Quadro 7 – Verificação dos Rigores Térmicos mensais diurnos e noturnos pelo MMT	55
Quadro 8 – Verificação dos Rigores Térmicos mensais diurnos e noturnos pelo MMN.....	56
Quadro 9 – Regras para detecção dos Indicadores de Umidade e Aridez pelo MMT	56
Quadro 10 – Frequência mensal e anual dos indicadores de umidade e aridez para o MMT ..	57
Quadro 11 – Regras de inferência para os Indicadores Nebulosos de Umidade e Aridez pelo MMN	57
Quadro 12 – Frequência mensal e anual dos indicadores de umidade e aridez para o MMN..	57
Quadro 13 – Modelagem das recomendações projetuais no MMN	59
Quadro 14 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Arapiraca.....	79
Quadro 15 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em Arapiraca	80
Quadro 16 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) - Arapiraca	85
Quadro 17 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Arapiraca	86
Quadro 18 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Coruripe.....	91
Quadro 19 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em Coruripe.....	92
Quadro 20 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) - Coruripe.....	96

Quadro 21 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Coruripe	97
Quadro 22 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Maceió	102
Quadro 23 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em Maceió	103
Quadro 24 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) - Maceió	107
Quadro 25 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Maceió	108
Quadro 26 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Palmeira dos Índios.....	113
Quadro 27 – Rosas dos ventos com média mensal de frequência e direção dos ventos em Palmeira dos Índios	114
Quadro 28 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) – Palmeira dos Índios	118
Quadro 29 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Palmeira dos Índios	119
Quadro 30 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Pão de Açúcar	124
Quadro 31 – Rosas dos ventos com média mensal de frequência e direção dos ventos em Pão de Açúcar.....	125
Quadro 32 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) – Pão de Açúcar	130
Quadro 33 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Pão de Açúcar	130
Quadro 34 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em São Luís do Quitunde	136
Quadro 35 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em São Luís do Quitunde	137
Quadro 36 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) – São Luís do Quitunde.....	141
Quadro 37 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para São Luís do Quitunde	142
Quadro 38 – Síntese das estratégias bioclimáticas para as seis cidades estudadas	146

Quadro 39 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Arapiraca	164
Quadro 40 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Coruripe	165
Quadro 41 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Maceió	166
Quadro 42 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Palmeira dos Índios	167
Quadro 43 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Pão de Açúcar .	168
Quadro 44 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de São Luís do Quitunde	169
Quadro 45 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Arapiraca	176
Quadro 46 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Coruripe.....	177
Quadro 47 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Maceió	178
Quadro 48 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Palmeira dos Índios	179
Quadro 49 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Pão de Açúcar.....	180
Quadro 50 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para São Luís do Quitunde	181
Quadro 51 – Ilustração das estratégias bioclimáticas	184

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AZBB** – Área das aberturas com relação à área do piso
- AMMN** – Área das aberturas com relação à área das paredes
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANTAC** – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
- ASHRAE** – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
- AT** – Amplitude Térmica
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IECC** – *International Energy Conservation Code*
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- LabEEE** – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
- LABSOLAR** – Laboratório de Energia Solar
- MMN** – Método de Mahoney Nebuloso
- MMT** – Método de Mahoney Tradicional
- OMM** – Organização Mundial de Meteorologia
- PL** – Pluviosidade
- SWERA** – *Solar and Wind Energy Resource Assessment*
- R(n°)** – Número da recomendação projetual indicada pelo MMT ou pelo MMN
- RCCTE** – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- RTQ-C** – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- RTQ-R** – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
- TM** – Temperatura Média
- TMY** – *Typical Meteorological Year* (Ano Meteorológico Típico)
- TRY** – *Test Reference Year* (Ano Climático de Referência)
- UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina
- URM** – Umidade Relativa Média
- ZB** – Zona Bioclimática
- ZBB** – Zoneamento Bioclimático Brasileiro
- μ** – Grau de pertinência

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1. Objetivos	22
1.2. Estrutura do trabalho	22
2. CLIMATOLOGIA COMO FUNDAMENTO DA ARQUITETURA	24
2.1. Dinâmicas climáticas.....	24
2.2. Zoneamentos Bioclimáticos	28
2.2.1. <i>Zoneamento Bioclimático Brasileiro</i>	29
2.2.2. <i>Considerações sobre o Zoneamento Bioclimático Brasileiro</i>	34
2.3. Modelos bioclimáticos para o projeto arquitetônico	37
2.3.1. <i>Cartas Bioclimáticas</i>	37
2.3.2. <i>Planilhas de Mahoney</i>	40
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
3.1. Escolha das cidades	42
3.2. Tratamento e análise dos dados climáticos	45
3.2.1. <i>Verificação da consistência dos dados climáticos</i>	45
3.2.2. <i>Obtenção de medidas de descrição climáticas</i>	47
3.2.3. <i>Determinação dos Anos Climáticos de Referência (TRY)</i>	48
3.3. Obtenção das estratégias projetuais bioclimáticas	49
3.3.1. <i>Carta Bioclimática de Givoni</i>	49
3.3.2. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	50
4. CARACTERIZAÇÃO DOS OBJETOS DO ESTUDO	61
4.1. Arapiraca	63
4.2. Coruripe.....	65
4.3. Maceió.....	67
4.4. Palmeira dos Índios	69
4.5. Pão de Açúcar.....	71
4.6. São Luís do Quitunde	73

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	76
5.1. Arapiraca.....	76
5.1.1. <i>Análise climática da série histórica</i>	76
5.1.2. <i>Carta de Givoni</i>	81
5.1.3. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	83
5.1.4. <i>Discussão das estratégias bioclimáticas</i>	85
5.2. Coruripe	88
5.2.1. <i>Análise climática da série histórica</i>	88
5.2.2. <i>Carta de Givoni</i>	93
5.2.3. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	94
5.2.4. <i>Discussão das estratégias bioclimáticas</i>	97
5.3. Maceió.....	99
5.3.1. <i>Análise climática da série histórica</i>	99
5.3.2. <i>Carta de Givoni</i>	104
5.3.3. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	105
5.3.4. <i>Discussão das estratégias bioclimáticas</i>	108
5.4. Palmeira dos Índios.....	110
5.4.1. <i>Análise climática da série histórica</i>	110
5.4.2. <i>Carta de Givoni</i>	115
5.4.3. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	116
5.4.4. <i>Discussão das estratégias bioclimáticas</i>	119
5.5. Pão de Açúcar	121
5.5.1. <i>Análise climática da série histórica</i>	121
5.5.2. <i>Carta de Givoni</i>	126
5.5.3. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	128
5.5.4. <i>Discussão das estratégias bioclimáticas</i>	130
5.6. São Luís do Quitunde	132
5.6.1. <i>Análise climática da série histórica</i>	133
5.6.2. <i>Carta de Givoni</i>	138
5.6.3. <i>Método de Mahoney Nebuloso</i>	139
5.6.4. <i>Discussão das estratégias bioclimáticas</i>	142
5.7. Síntese das recomendações	144
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	148

REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE A: Lacunas mensais e anuais por variável.....	158
APÊNDICE B: Processo de determinação dos TRY's para as cidades estudadas	164
APÊNDICE C: Distribuição da frequência de velocidade do vento e intensidade de precipitação.....	170
APÊNDICE D: Modelagens das recomendações projetuais do MMN.....	176
APÊNDICE E: Gráficos comparativos entre as cidades estudadas	182
APÊNDICE F: Ilustração das estratégias bioclimáticas	184

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura influencia a saúde e a qualidade de vida do ser humano uma vez que ela abriga o homem em suas atividades cotidianas. Existem diversos fatores que devem ser considerados no momento da elaboração de um projeto para aumentar o grau de satisfação do usuário com o ambiente, seja ele arquitetônico ou urbano. Um desses fatores é o conforto térmico.

O uso da arquitetura bioclimática permite maior eficiência energética do ambiente construído sem negligenciar o conforto térmico de seus usuários. Barbirato, Souza e Torres (2016, p. 12) definem a bioclimatologia como a relação entre o usuário e as condições climáticas locais, de modo que elementos da arquitetura valorizem as condições externas favoráveis ao conforto térmico do ambiente e minimize as desfavoráveis. A arquitetura bioclimática é, então, “uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio” (ROMERO, 2015, p. 28).

A expressão *Projeto Bioclimático* foi criada pelos irmãos Aladar e Victor Olgyay na década de 1960 para se referir a projetos nos quais o estudo do clima e sua relação com o conforto térmico humano são aplicados na arquitetura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013, p. 84). Correia e Barbirato (2013, p. 2) afirmam que “o estudo das variáveis climáticas e sua relação com a edificação é indispensável, pois possibilita o entendimento físico dos vários processos climáticos relacionados à edificação, interferindo positivamente nas decisões de projeto”. Desse modo, a compreensão do perfil climático de uma cidade é de fundamental importância para subsidiar a formulação de diretrizes projetuais com vistas à adequação das edificações e dos ambientes urbanos às condições climáticas locais.

Os dados climáticos são coletados por estações meteorológicas de acordo com sua finalidade. As estações convencionais têm dados coletados em horários específicos ao longo do dia, pois exigem a presença de uma pessoa para colhê-los. As automáticas coletam dados de maneira informatizada com frequência horária das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, velocidade e direção do vento, radiação solar, dentre outras. As agrometeorológicas coletam dados de direção e velocidade dos ventos, precipitação acumulada, pressão barométrica, radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar, além de dados de temperatura do solo e conteúdo de água do solo (PASSOS, 2009, p. 63).

Assim como na maioria das cidades brasileiras, os dados climáticos das cidades alagoanas, “quando disponíveis, não são direcionados para a solução dos problemas de projeto de edificações, fazendo com que os profissionais da área os ignorem” (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998, p. 1). Por isto, o planejamento arquitetônico e urbano do estado, em sua maioria, não considera o contexto climático local. A inadequação com este acarreta o desconforto térmico por calor dos usuários e/ou no aumento do uso de climatização artificial afetando negativamente a eficiência energética da construção.

Para dar subsídio aos profissionais na concepção de projetos, existem metodologias que sugerem diretrizes projetuais bioclimáticas baseadas em dados climáticos de cada localidade “fazendo uso da tecnologia que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos, a fim de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com baixo consumo energético” (BOGO *et al.*, 1994, p. 9).

Dentre essas metodologias, pode-se citar como mais consolidadas a Carta Bioclimática de Olgyay, publicada em 1968, que se trata de um gráfico bioclimático desenvolvido após estudos acerca dos efeitos do clima sobre o homem; o Método de Mahoney Tradicional (UNITED NATIONS, 1971 *apud* KOENIGSBERGER *et al.*, 1977), que consiste em planilhas preenchidas sequencialmente com dados climáticos, culminando em sugestões projetuais bioclimáticas ao final do processo; e a Carta de Givoni (1992), diagrama psicrométrico dividido em zonas que especificam as estratégias mais indicadas para determinado local de acordo com a plotagem de dados climáticos sobre as mesmas.

No Brasil, a prática da arquitetura bioclimática é incentivada por meio da Norma Técnica NBR 15220:3 (ABNT, 2005) que traz o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB). A norma aponta diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social a fim de auxiliar na concepção de projetos mais coerentes com o clima local. Embora represente um avanço no incentivo à prática da concepção bioclimática, várias pesquisas têm sido feitas com críticas ao ZBB, considerando-o generalista e destacando a necessidade de estudos mais específicos com relação às características climáticas peculiares de cada cidade.

Em Alagoas, alguns estudos foram realizados com o intuito de aprofundar as informações sobre os contextos climáticos locais e identificar as estratégias bioclimáticas mais adequadas para as cidades estudadas, podendo-se citar as pesquisas de Passos (2009), Correia (2012) e Martins, Bittencourt e Krause (2012). A implantação de estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possibilitou a obtenção de dados

climáticos horários que facilitam a caracterização climática local e a aplicação em instrumentos de auxílio projetual que promovam a bioclimatologia.

Portanto, é necessário o desenvolvimento de pesquisas que façam uso de dados climáticos recentes e confiáveis que contribuam para a ampliação do conhecimento sobre os tipos de clima em Alagoas, bem como sobre as estratégias construtivas aplicáveis a cada cidade, abrangendo o maior número delas.

1.1. Objetivos

O objetivo geral do trabalho foi sintetizar estratégias bioclimáticas recomendáveis ao planejamento arquitetônico em seis cidades alagoanas, com vistas à obtenção de conforto térmico no espaço habitado.

Para tanto, foi necessário delimitar os seguintes objetivos específicos:

- Compreender a contribuição da Climatologia na obtenção de estratégias projetuais em cidades inseridas em diferentes contextos climáticos de Alagoas;

- Identificar os diferentes contextos climáticos no estado de Alagoas a partir da análise do perfil climático das cidades de Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e São Luís do Quitunde;

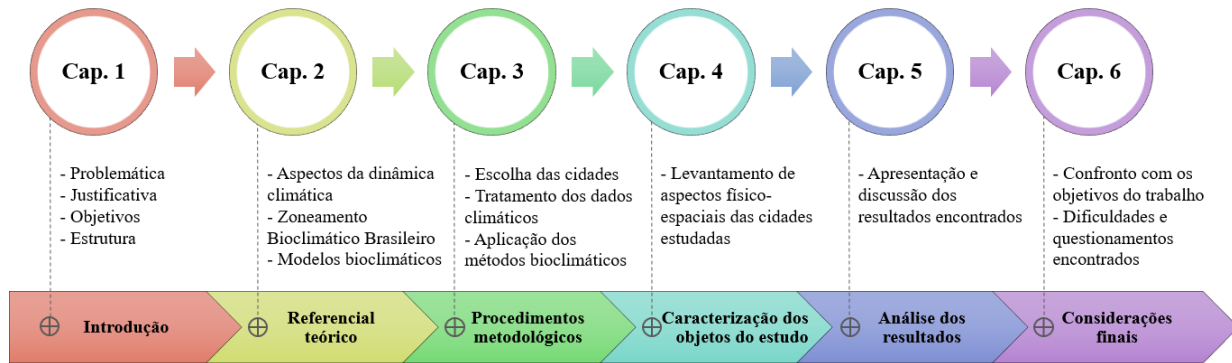
- Analisar as estratégias bioclimáticas indicadas para os contextos climáticos em tela a partir de dados climáticos registrados no período entre 2009 e 2018 nas seis cidades estudadas.

1.2. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo faz breve introdução ao tema da pesquisa e apresenta os objetivos do trabalho. O segundo capítulo traz o referencial teórico-conceitual adotado para o desenvolvimento da pesquisa, iniciando pelos aspectos da dinâmica climática, seguindo pelas classificações climáticas voltadas à arquitetura e ao urbanismo, com especial atenção ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro e discussões sobre o mesmo, e finalizando com o levantamento de alguns dos principais modelos bioclimáticos. O terceiro capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, desde o tratamento dos dados, até os métodos bioclimáticos adotados, enquanto o quarto capítulo dedica-se à caracterização das seis cidades estudadas. O quinto capítulo expõe os resultados obtidos e, por fim, o sexto capítulo apresenta as considerações finais, confrontando com os

objetivos do trabalho e citando as dificuldades e questionamentos encontrados na pesquisa. A estruturação do trabalho é vista na Figura 1.

Figura 1 – Esquemática da estrutura da dissertação



Fonte: Elaborada pela autora

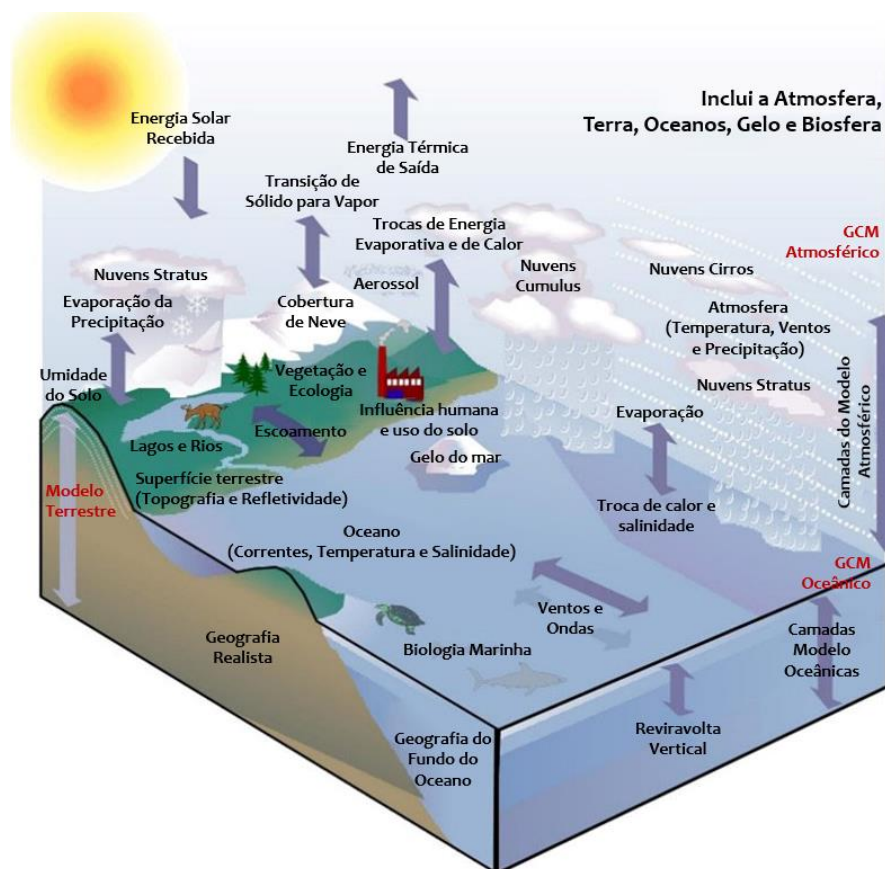
2. CLIMATOLOGIA COMO FUNDAMENTO DA ARQUITETURA

Neste capítulo, são apresentadas algumas das principais classificações climáticas em uso. Em seguida, descreve-se brevemente as classificações climáticas elaboradas para fins de aplicação em projetos arquitetônicos – os Zoneamentos Bioclimáticos –, especificamente o brasileiro, suas propostas de revisão e discussões sobre o tema. Também são relatados alguns dos principais modelos bioclimáticos utilizados tanto como critério definidor de alguns dos zoneamentos, quanto para a definição de estratégias bioclimáticas de forma isolada.

2.1. Dinâmicas climáticas

Clima é o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera sobre determinado lugar da superfície terrestre (HANN, 1882 *apud* MONTEIRO, 1991). Os fatores e os elementos do clima agem de maneira integrada, na qual cada um deles é o resultado da relação com os demais (ROMERO, 2013, p. 44), como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Representação do sistema climático global



Fonte: *National Climate Assessment*², adaptada pela autora, 2019

²Imagem original disponível no endereço eletrônico: <<https://nca2014.globalchange.gov/report/appendices/climate-science-supplement/graphics/modeling-climate-system>> Acesso em: 18 de fevereiro de 2019.

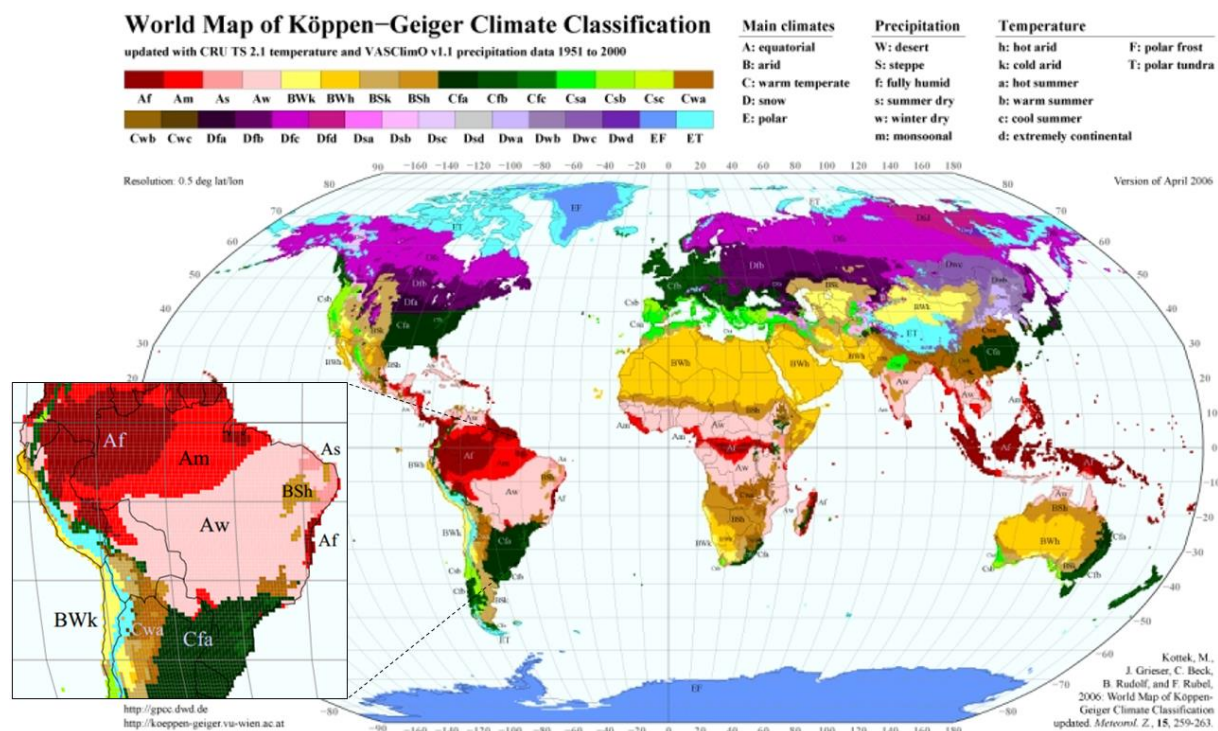
Os fatores climáticos podem ser divididos em globais e locais. Os fatores globais são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao clima. Os principais dizem respeito à radiação solar, à latitude, à altitude, aos regimes dos ventos e às massas d'água. Enquanto os fatores locais dão origem aos microclimas, podendo-se citar a topografia e o revestimento do solo (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

Os elementos climáticos, por sua vez, representam os valores relativos a cada tipo de clima, sendo os principais a temperatura do ar, a umidade do ar, a radiação, o movimento do ar e as precipitações (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

Romero (2013, p. 44) afirma que, devido à complexidade da dinâmica do clima, a realização de uma classificação climática geral ou uma tipificação não é facilmente aceita pelos diversos autores que tratam da compreensão do tema. A este respeito, Ayoade (1996, p. 226) pondera que “o valor de qualquer classificação climática tem que ser julgado por seu êxito ao atingir o objetivo para o qual foi projetada”.

A classificação climática mais difundida no mundo provavelmente seja a elaborada em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, e atualizada anos depois com a ajuda de Rudolf Geiger, observada na Figura 3.

Figura 3 – Mapa mundial da classificação climática de Köppen-Geiger



Fonte: *World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*³, adaptado pela autora, 2018

³ Disponível no endereço eletrônico: <<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>> Acesso em 22 de setembro de 2018.

A classificação se baseia na hipótese de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima que nela prevalecente. Assim, as regiões climáticas estão diretamente relacionadas às áreas de predominância de cada tipo de vegetação (KÖPPEN; GEIGER, 1928, *apud* BARROS *et al.*, 2012).

Na classificação proposta por Köppen, existem cinco grupos climáticos definidos principalmente com base nas características das temperaturas. Estes cinco grupos são subdivididos com base na distribuição sazonal da precipitação e nas características adicionais de temperatura resultando em um total de 24 tipos climáticos (AYOADE, 1996, p. 231).

O geógrafo e climatologista Charles Warren Thornthwaite foi um crítico de Köppen afirmando que seu modelo era “não-sistemático, baseado numa mesclagem de normas e definições não afins” (AYOADE, 1996, p. 231). Dessa forma, em 1948, o autor propôs uma classificação climática baseada apenas em dados climáticos e que adota a evapotranspiração potencial, o balanço hídrico e um índice de umidade como critérios para definição dos climas, sendo útil em vários campos, embora também sofra críticas quanto à sua baixa praticidade (AYOADE, 1996, p. 234).

Em 1989, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE publicou um estudo de classificação climática típico do Brasil produzido por Edmon Nimer e visto na Figura 4.

Figura 4 – Mapa brasileiro da classificação climática de Nimer



Fonte: IBGE: Anuário Estatístico Brasileiro - 2017⁴

⁴ Disponível no endereço eletrônico: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=720>> Acesso em 23 de fevereiro de 2019.

Nimer usou dois critérios para diferenciar os tipos de climas sendo o primeiro a temperatura média enquanto o segundo foi a quantidade de meses secos, dando origem a dois níveis de classificações climáticas (NIMER, 1989 *apud* PASSOS, 2009, p. 36).

Romero (2013), após levantar críticas às classificações de Köppen e a de Thornthwaite, apresenta a classificação climática para a região tropical realizada por Ferreira (1965, *apud* ROMERO, 2013) como sendo mais eficiente na demonstração das principais características do clima que se verifica nos espaços construídos nas cidades e no seu entorno imediato. Esta classificação resume o clima em três tipos: quente-seco, quente-úmido e tropical de altitude, como observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização dos climas tropicais

Quente-úmido	Quente-seco	Tropical de altitude
Pequenas variações de temperatura durante o dia. Amplitude das variações diurnas fracas. Dias quentes e úmidos. À noite, a temperatura é mais amena e com umidade elevada.	Grandes amplitudes de temperatura durante o dia (15°C). No período seco, durante o dia as máximas alcançam valores extremos, enquanto à noite decrescem as temperaturas, alcançando valores mínimos pela madrugada.	As amplitudes diárias podem alcançar valores apreciáveis. Desconforto pela temperatura elevada do dia, minorado à noite; a temperatura pode baixar aquém dos limites de conforto.
Duas estações: verão e inverno, com pequena variação de temperatura entre elas; o período das chuvas é indefinido com maiores precipitações no verão.	Duas estações: uma seca e outra de chuva. No período de chuva estas não alcançam os valores de umidade característicos das regiões tropicais úmidas.	Duas estações: quente-úmida, que se inicia no verão, e a seca no inverno. Temperatura média entre 19 e 26°C durante o dia, caindo à noite. Forte perda por radiação noturna no período seco.
Radiação difusa muito intensa. O conteúdo de vapor d'água das nuvens evita a radiação direta intensa.	Pouca radiação difusa em virtude de umidade baixa. Radiação direta intensa.	Radiação difusa intensa no verão e menor no inverno. Radiação direta acentuada no verão, mais forte que igual latitude ao nível do mar.
Alto teor de umidade relativa do ar.	Baixo teor de umidade relativa do ar.	Pelo teor de umidade é considerado seco (aprox. 70%).
Localização geográfica: entre os trópicos de Câncer (23° 27' N) e Capricórnio (23° 27' S).	Localização geográfica: entre os trópicos de Câncer (23° 27' N) e Capricórnio (23° 27' S).	Localização geográfica: este clima se dá predominantemente entre 400 e 1.200 m de altitude, entre 14 e 16° latitude Sul.
Vento fraco, direção dominante sudeste.	Massa de ar quente conduzindo partículas de pó em suspensão nos seus deslocamentos no período seco.	Ventos sudestes e lestes no inverno seco e noroeste no verão chuvoso.
Semelhança sensível dos dados climáticos de uma localidade para outra.	Diferenças marcadas quanto aos dados climáticos de uma localidade para outra.	-

Fonte: FERREIRA, 1965 *apud* ROMERO, 2013

Como visto, cada tipo de classificação climática visa atender uma necessidade específica e adota diferentes parâmetros para sua determinação. Algumas classificações são

elaboradas a fim de auxiliar a adaptação de projetos arquitetônicos e urbanos ao clima no qual serão implantados. São os chamados Zoneamentos Bioclimáticos.

2.2. Zoneamentos Bioclimáticos

Com o intuito de facilitar e disseminar a prática do bioclimatismo na arquitetura, muitos países desenvolveram zoneamentos com vistas a estabelecer diretrizes construtivas adequadas ao clima local. “O mapeamento e o cadastramento sistemático dessas estratégias [bioclimáticas] facilitam o entendimento e proporcionam a adoção de práticas mais comprometidas com a qualidade ambiental dos espaços projetados” (MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012, p. 60).

O zoneamento bioclimático é “a distribuição geográfica de fatores climáticos que afetam o desenho arquitetônico, e permite o estabelecimento de diretrizes de desenho bioclimáticas relevantes” (EVANS, 2004, *apud* WALSH; LABAKI e CÓSTOLA, 2014, p. 996). Ainda segundo o autor, o zoneamento direcionado para a arquitetura e o conforto térmico:

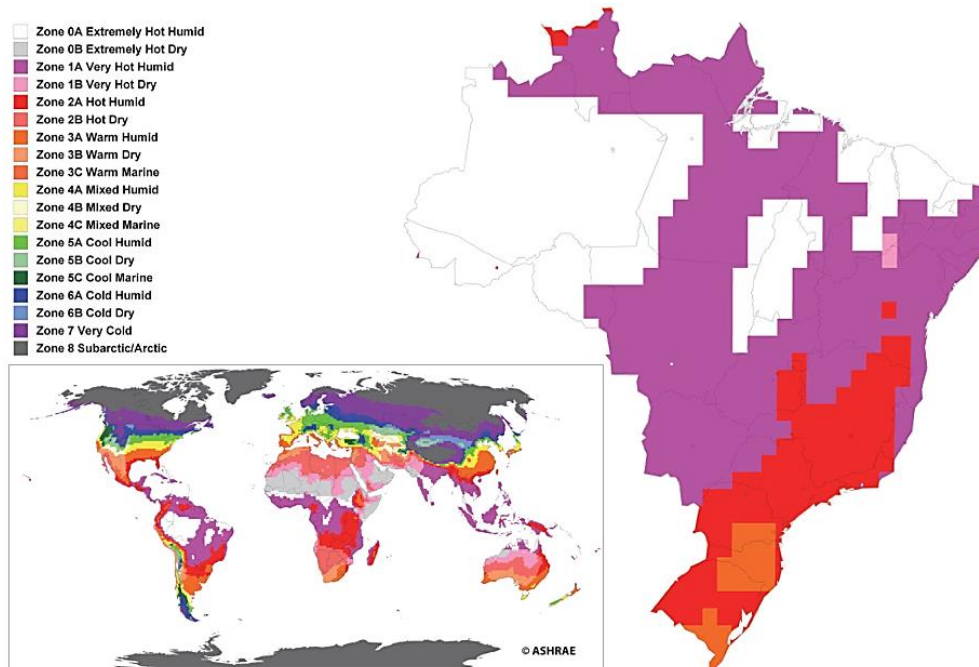
(...) permite identificar áreas geográficas com condições climáticas similares, onde o projeto arquitetônico, mediante a aplicação de estratégias de acondicionamento natural, pode promover o conforto térmico, reduzir a demanda de energia para calefação ou refrigeração e evitar ou reduzir impactos prejudiciais (EVANS, 2004, *apud* NAVARRO, 2007, p. 23).

Diversos países contam com normalizações para o melhor desempenho térmico de edificações. Pode-se citar como exemplo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), implementado em 2006 em Portugal, cujo enfoque é o condicionamento natural das edificações. Com base na aplicação do Diagrama Bioclimático de Givoni, o RCCTE estabeleceu nove zonas climáticas para o país, propondo estratégias bioclimáticas para cada uma das zonas, tanto no verão quanto no inverno (ROCHA; ASSIS; GONÇALVES, 2009).

Outro código internacional importante é o *International Energy Conservation Code* (IECC), seguido nos Estados Unidos desde 1998 e revisado a cada três anos. O código oferece diretrizes para o projeto arquitetônico e para o desempenho de instalações e equipamentos de acordo com um zoneamento climático produzido a partir do método de graus-hora (ROCHA; ASSIS; GONÇALVES, 2009). O zoneamento estadunidense foi aderido pela *Standard 169, Climatic Data for Building Design Standards* (ASRHAE, 2013), cuja apresenta um zoneamento bioclimático mundial, sendo adotada por países como Porto Rico, México e Canadá (WALSH;

LABAKI; CÓSTOLA, 2014). O zoneamento bioclimático para o Brasil segundo a *Standart 169* é visto na Figura 5.

Figura 5 – Zonas climáticas mundiais e do Brasil



Fonte: ASHRAE, adaptada pela autora, 2013

No Brasil, o Zoneamento Bioclimático Brasileiro foi produto de encontros realizados pelo Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da ANTAC e, posteriormente, pela Comissão de Estudos sobre Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações vinculada ao Comitê Brasileiro de Construção Civil da ABNT (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999, p. 1).

2.2.1. Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Roriz (2012a, p. 7) definiu Zoneamento Bioclimático, se referindo ao brasileiro, como a tentativa de “dividir o território brasileiro em zonas que reflitam, do melhor modo possível, a diversidade climática do país em relação ao comportamento térmico e energético de edificações”.

As discussões acerca de um zoneamento bioclimático para o Brasil tiveram início em meados de 1988, com a criação do Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC). Desde sua criação, o grupo foi responsável pelas pesquisas que originaram o zoneamento bioclimático em vigor,

bem como as posteriores propostas de revisão do mesmo. Todas as propostas de zoneamento foram lideradas pelo arquiteto e professor Maurício Roriz⁵, então membro da ANTAC.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB) foi estabelecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 15220 (ABNT, 2005), com estabelecimento de diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. A Norma foi publicada em 2003, entrando em vigor a partir de 2005.

Roriz, Ghisi e Lamberts (1999) explicaram que

[...] para definir a base de dados climáticos, dividiu-se o território brasileiro em 6500 células, cada uma correspondendo a um quadrado com 36 km de lado, caracterizado pela respectiva posição geográfica e pelas médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e das umidades relativas do ar. Para 330 células contou-se com dados climáticos medidos. Para as demais, o clima foi estimado por meio de interpolação (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999, p. 2).

De acordo com os autores, as metodologias utilizadas para a definição do Zoneamento consistiram na Carta Bioclimática de Givoni (1992) adaptada⁶, para a classificação do clima de cada célula do território brasileiro; no agrupamento em zonas de cada conjunto de células classificadas em um mesmo tipo; e na definição das diretrizes construtivas segundo o Método de Mahoney (*UNITED NATIONS*, 1971 *apud* KOENIGSBERGER *et al.*, 1977).

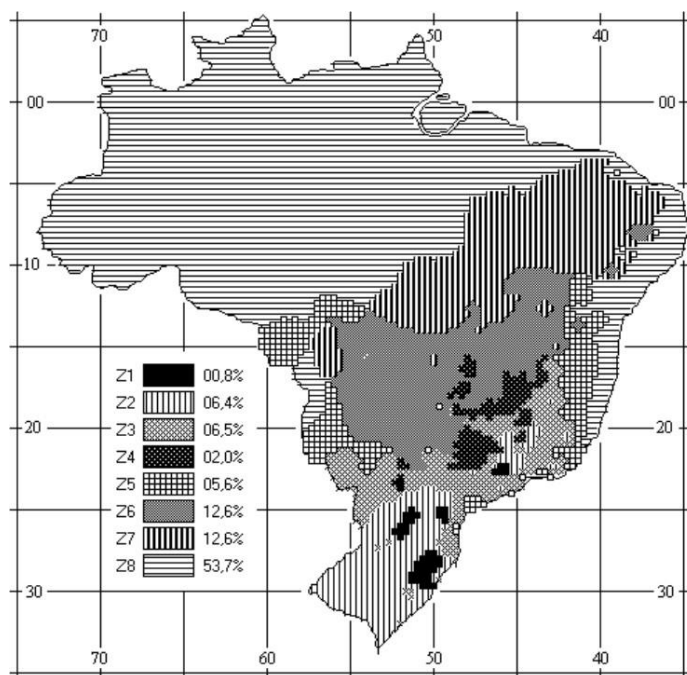
As diretrizes construtivas para cada zona são definidas segundo quatro parâmetros: (1) tamanho das aberturas para ventilação, (2) proteção das aberturas, (3) vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura) e (4) estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005, p. 3).

O Zoneamento resultou na divisão do território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas, sendo a menor delas a Zona 1 (clima frio), cobrindo 0,8% do território nacional; e a maior delas a zona 8 (clima quente e úmido), abrangendo 53,7% do território (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999, p. 8), como visto na Figura 6.

⁵ Graduado em Arquitetura pela Universidade Católica de Goiás (1973), mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1987) e doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (1996), foi professor associado da Universidade Federal de São Carlos, tendo experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Desempenho Térmico de Edificações e atuando principalmente nos seguintes temas: arquitetura bioclimática, eficiência energética de edificações, desempenho térmico de edificações, conforto ambiental e conforto térmico (Texto informado pelo autor e disponível em seu Currículo Lattes, coletado em 7 de agosto de 2018). Faleceu em 2014 (*Despedida a Maurício Roriz*, disponível no endereço eletrônico: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/noticias/despedita-a-mauricio-roriz>> Acesso em 7 de agosto de 2018).

⁶ A Carta de Givoni sofreu alterações com o intuito de tornar o método mais sensível à realidade climática brasileira baseadas nas “experiências acadêmicas e profissionais dos especialistas da Comissão de Estudos, bem como alguns aspectos da cultura construtiva típica de cada região brasileira” (RORIZ; GHISI; LAMBERTS, 1999, p. 3).

Figura 6 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT, 2005

Dentre as 330 células que dispunham de dados climáticos medidos, 8 corresponderam a cidades alagoanas: Água Branca, classificada na Zona 5, e Anadia, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar, Pilar e Porto de Pedras, classificadas na Zona 8.

As recomendações do ZBB para a Zona 5 são: sombrear as aberturas, ventilação cruzada no verão, aberturas para ventilação médias ($15\% < A_{ZBB} < 25\%$), paredes externas e cobertura leves refletoras, porém com vedações internas pesadas durante o inverno. Para a Zona 8, as recomendações são: sombrear as aberturas, ventilação cruzada permanente, aberturas para ventilação grandes ($A_{ZBB} > 40\%$), parede leve refletora, cobertura leve refletora e condicionamento ativo durante as horas mais quentes.

Devido ao pequeno número de cidades com dados climáticos medidos e ao reduzido número de zonas obtidas, o Zoneamento sofreu críticas por ser muito “generalista”, agrupando em uma mesma zona cidades com comportamentos climáticos locais aparentemente distintos (PASSOS, 2009).

Além disso, por ser o único zoneamento em vigor, no Brasil, o mesmo passou a ser referenciado em normas destinadas a edificações de diferentes tipologias, a exemplo da NBR

⁷ A_{ZBB} : Área da abertura com relação à área total do piso do ambiente em questão.

15575⁸, e Regulamentos Técnicos sobre Eficiência Energética – RTQ-C⁹ e RTQ-R¹⁰, embora tenha sido elaborado para aplicação em projetos de habitação de interesse social.

Nos anos que se seguiram ao ZBB, houve uma política de ampliação na rede de estações meteorológicas. Como exemplo, pode-se citar a implantação de 500 estações automáticas de superfície pelo INMET, até meados de 2008, em todos os estados do Brasil (INMET, 2007). O número maior de fontes de dados registrados permitiu o surgimento de proposta de aperfeiçoamento do Zoneamento minimizando o grau de incerteza alcançado na primeira versão.

Assim, a ANTAC elaborou novas propostas de zoneamentos embasadas em uma quantidade maior de dados medidos e em diferentes métodos. As propostas de zoneamento realizadas até a presente data são apresentadas no Quadro 2, juntamente com as nomenclaturas adotadas nesta pesquisa, semelhantes às adotadas por Amorim e Carlo (2017), com o intuito de facilitar seu entendimento.

Quadro 2 – Equivalência de nomenclatura entre propostas de zoneamento bioclimático brasileiro

Título	Data de lançamento	Fonte	Nomenclatura adotada nesta pesquisa
Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social	Set/2003	ABNT (2005)	ZBB
Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro	Jan/2012	RORIZ (2012b)	Proposta 1
Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil	Ago/2012	RORIZ (2012a)	Proposta 2
Classificação de Climas do Brasil – Versão 2	Nov/2013	RORIZ (2013a)	Proposta 3
Classificação de Climas do Brasil – Versão 2.1	Nov/2013	RORIZ (2013b)	Proposta 3.1
Classificação de Climas do Brasil – Versão 3	Mar/2014	RORIZ (2014)	Proposta 4

Fonte: ABNT, 2005; RORIZ, 2012a; RORIZ, 2012b; RORIZ, 2013a; RORIZ, 2013b e RORIZ, 2014

O Quadro 3 apresenta uma síntese comparativa entre todas as propostas de zoneamento a exemplo das elaboradas por Roriz (2012a, p. 1) e por Amorim e Carlo (2017, p. 7).

⁸ ABNT (2008). NBR 15575: Desempenho de Edifícios de até Cinco Pavimentos: Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro.

⁹ INMETRO (2010a). RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Brasília, DF.

¹⁰ INMETRO (2010b). RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Brasília, DF.

Quadro 3 – Diferenças entre as propostas de zoneamento bioclimático feitas pela ANTAC

Aspecto	NBR 15220-3	Proposta 1	Proposta 2	Proposta		Proposta 4
				3	3.1	
<i>Pontos com dados medidos</i>	330	610	1281	1513	1511	1511
<i>Métodos para estimativas</i>	Interpolação	a) Equações de regressão para sedes de municípios b) Interpolação para os pontos restantes ¹¹	a) Dados medidos por satélite a cada grau de latitude e longitude b) Interpolação para os pontos restantes	a) Dados medidos por satélite a cada grau de latitude e longitude b) Interpolação para os pontos restantes (utilizando 846 pontos satélite e 230 pontos em países vizinhos)	-	a) Dados medidos por satélite a cada grau de latitude e longitude b) Interpolação para os pontos restantes (utilizando 1067 pontos satélite e 226 pontos em países vizinhos)
<i>Compatibilização entre dados de diferentes períodos</i>	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>Parâmetro de zoneamento¹²</i>	Carta de Givoni adaptada	a) TMA b) AMA c) dT d) dA	a) GhC b) GhF (totais anuais)	a) TMA b) AMA c) dpT d) dpA	a) TMA b) AMA c) dpT d) dpA	a) TMA b) AMA c) dpT d) dpA
<i>Número de zonas resultantes</i>	8	20	16	24	32	24
<i>Cidades alagoanas com dados utilizados</i>	8	8	-	-	-	-
<i>Zonas presentes em Alagoas</i>	2 zonas: 5 e 8 (incluídas Arapiraca, Coruripe, Maceió, P. dos Índios, P. de Açúcar e São Luís do Quitunde)	5 zonas: 9 (incluída Maceió), 10 (incluídas Arapiraca e São Luís do Quitunde), 17, 18 (incluídas Coruripe e P. dos Índios) e 20 (incluída P. de Açúcar)	5 zonas: 5, 9, 10, 13 e 15	8 zonas: 9 (incluídas Coruripe e Maceió), 10 (incluída P. dos Índios), 12 (incluída Arapiraca), 13, 14, 17, 20 (incluída P. de Açúcar) e 21 (incluída São Luís do Quitunde)	-	-

Fonte: ABNT, 2005; RORIZ, 2012a; RORIZ, 2012b; RORIZ, 2013a; RORIZ, 2013b e RORIZ, 2014

¹¹ Interpolações foram desenvolvidas por meio do programa Surfer-9 aplicando-se o método Kriging.

¹² TMA – Temperatura Média Anual; AMA – Amplitude Média Anual; dT – Diferença entre a maior e a menor Temperatura Média Mensal; dA – Diferença entre a maior e a menor Amplitude Térmica Mensal; GhC – Graus-horas de calor; GhF – Graus-horas de frio; dpT – Desvio-padrão de Temperatura Média; dpA – Desvio-padrão de Amplitude Média.

As propostas de revisão do ZBB não chegaram à etapa de identificação das estratégias construtivas a serem recomendadas para cada classificação climática estabelecida, sendo esta tarefa sugerida pelo autor como próxima etapa de pesquisa, bem como a definição de zoneamentos bioclimáticos específicos para diferentes tipologias construtivas (habitação, comércio, indústria etc.).

Nenhuma das propostas citadas foi oficializada como substituta do ZBB, assim como não foram desenvolvidas as demais etapas em continuidade à Proposta 4, como almejado por Roriz (2014). Do mesmo modo, não foram divulgadas novas propostas de zoneamento pela ANTAC. Assim, a NBR 15220:3 (ABNT, 2005) continua sendo o único instrumento formal que orienta projetistas considerando o bioclimatismo a nível nacional.

Neste sentido, estudos desvinculados do Grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da ANTAC têm contribuído com o incremento de recomendações projetuais com enfoque no clima de cada localidade.

2.2.2. Considerações sobre o Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Desde a implementação da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), vários estudos foram realizados a fim de verificar a adequabilidade do Zoneamento Bioclimático Brasileiro aos diferentes contextos climáticos. Além disso, as pesquisas buscaram alternativas às inconsistências nas classificações feitas pelo ZBB, seja quanto aos arquivos climáticos utilizados, seja quanto às metodologias adotadas, de modo a obterem recomendações projetuais bioclimáticas mais coerentes com os locais estudados.

Walsh, Labaki e Cóstola (2014) fizeram levantamento das principais propostas de zoneamentos realizados nas Américas considerando países como Argentina, Chile, Estados Unidos, Canadá, México, Peru, Equador, Colômbia e Brasil. As metodologias usualmente adotadas nos zoneamentos estudados foram: Carta Bioclimática de Givoni, Graus-dia (GDA e GDE)¹³ e TEC/VMP+IBH¹⁴. As variáveis climáticas consideradas nas análises foram: altitude, amplitude térmica, temperatura do ar, radiação solar, vento, precipitação, umidade do ar e inversão térmica.

Estudos para a definição de um zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais têm sido realizados antes mesmo da implementação do ZBB. Gonçalves *et al.* (2003) já

¹³ GDA: Graus-Dia para Aquecimento; GDE: Graus-Dia para esfriamento

¹⁴ TEC: Temperatura Efetiva Corrigida; VMP: Voto Médio Estimado; IBH: Índice de Belding Hatch

apresentava resultados preliminares de um estudo para o zoneamento bioclimático do estado com base nas normais climatológicas de 79 cidades mineiras e nas Tabelas de Mahoney. Foram encontrados 13 grupos de cidades com recomendações iguais, as quais foram reagrupadas resultando em 5 grupos ou zonas bioclimáticas.

Pereira e Assis (2005) discutiram os critérios adotados no Projeto de Norma de Desempenho Térmico¹⁵ no que se refere às zonas para classificação bioclimática de Belo Horizonte. As autoras utilizaram a mesma metodologia adotada no projeto do ZBB (diagrama bioclimático de Givoni) aplicando dados de um Ano Climático de Referência (TRY) da cidade. O uso de diferentes bases de dados entre o projeto de ZBB e este estudo provocou mudança na classificação de zona bioclimática da cidade de Belo Horizonte de ZB-3 para ZB-4.

Rocha, Assis e Gonçalves (2009) apresentaram aperfeiçoamento das pesquisas sobre o zoneamento bioclimático de Minas Gerais acrescentando a variável de ventilação. Desta vez, foram utilizados dados climatológicos de 1.717 localidades mineiras e do entorno complementados por meio de simulação de dados geográficos em sistema de redes neurais artificiais. Para a análise da ventilação, foi feito levantamento dos mapas do potencial eólico brasileiro medidos a 50m de altura e corrigidos para 10m de altura. A metodologia definidora das zonas também foram as Tabelas de Mahoney. Os dados climáticos 1.717 pontos foram introduzidos no programa *Surfer*[®] em uma malha de 100 linhas por 84 colunas sobre o território de Minas Gerais, possibilitando gerar mapa representativo do zoneamento bioclimático que, em seguida, foi sobreposto ao mapa de ventilação. Como resultado, encontrou-se 16 grupos, reagrupados em 4 zonas bioclimáticas.

Bogo (2016) fez críticas ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro quanto à falta de recomendação de sombreamento para locais pertencentes às Zonas 1, 2 e 3 no período de verão. O autor apontou como possível causa o fato do ZBB se basear na Carta de Givoni (1992), método que não prevê o controle solar enquanto estratégia bioclimática. Além disso, o autor questionou o fato de cidades em altitudes bastante diferentes serem classificadas na mesma zona. Bogo (2016) concluiu que o diagnóstico do rigor climático do Método das tabelas de Mahoney constitui um procedimento de apoio útil no desenvolvimento do projeto de arquitetura pela fácil manipulação e diversidade de variáveis abordadas, podendo ser incorporado aos estudos de revisão do ZBB.

¹⁵ ABNT. Projeto 02:135.07-003: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 03: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro. 1999, 9p.

Amorim e Carlo (2017) discutiram o ZBB e as propostas de revisão do mesmo por meio da aplicação dos dados climáticos TRY e TMY2 da cidade de Colatina-ES nas metodologias definidoras das propostas de zoneamento, comparando os resultados com os casos de cidades próximas. Os resultados obtidos pelos arquivos TRY e TMY2 foram bastante semelhantes entre si. A comparação entre o ZBB e os resultados obtidos das propostas de revisão mostrou que os municípios do Espírito Santo podem apresentar comportamentos climáticos distintos entre si, embora todos pertençam à Zona 8 do ZBB. Percebeu-se também que, se critérios de zoneamento abrangentes tendem a não representar bem a classificação climática de locais distintos, por outro lado, critérios muito rigorosos (definição de muitas zonas) podem gerar equívoco nas classificações, como na classificação de Colatina em duas zonas distintas pela proposta de zoneamento de Roriz (2014) para os arquivos TRY e TMY2.

Peña, Ghisi e Pereira (2008), avaliaram a disponibilidade das variáveis climáticas vento e radiação solar em ambientes submetidos ao clima de Florianópolis. Com relação à ventilação, foi observado que, para os meses mais quentes, 74% das horas que indicavam a necessidade de ventilação apresentaram disponibilidade da variável vento, demonstrando que nem sempre é possível contar com a eficiência desta estratégia.

Algumas cidades alagoanas também foram analisadas quanto à adequabilidade às estratégias propostas pelo ZBB. Passos (2009) investigou estratégias bioclimáticas para três cidades alagoanas, todas classificadas na Zona 8, e descobriu diferenças entre as recomendações construtivas encontradas e as propostas pelo ZBB no que se refere ao tamanho das aberturas e à desumidificação do ar. A autora notou, ainda, que a Zona 8 não contemplou especificidades climáticas de cada localidade, provavelmente por se embasar em dados obtidos por interpolação¹⁶.

Martins, Bittencourt e Krause (2012) examinaram a adequabilidade das diretrizes do ZBB para a cidade de Pão de Açúcar comparando o comportamento climático da cidade com os climas das cidades de Maceió-AL (ZB-8) e de Petrolina-PE (ZB-7). Também se comparou o desempenho de uma edificação padrão implantada em Pão de Açúcar com o da mesma edificação implantada nas outras duas cidades. Foram feitas simulações computacionais com o auxílio do programa *EnergyPlus* versão 6.0.0. adequando todas as edificações às recomendações do Zoneamento para a Zona 8 e, em seguida, adequando-as às diretrizes recomendadas para a Zona 7. Os autores notaram que Pão de Açúcar apresentou características

¹⁶ Método que permite estimar um conjunto de dados a partir de dados pontuais previamente conhecidos.

climáticas e desempenho térmico mais apropriados à ZB-7 do que à ZB-8, a qual ela pertence, embora se aproximem da ZB-8 nos meses de inverno. A partir dos resultados obtidos, os autores apontaram a necessidade de zonas de transição (subzonas) ou mesmo zonas sazonais.

Correia (2012) identificou estratégias bioclimáticas recomendadas para a cidade de Mata Grande-AL e analisou a adequabilidade da classificação da cidade na Zona 8 do ZBB, comparando as estratégias levantadas para a cidade com recomendações indicadas para as cidades de Água Branca-AL (ZB-5), Arcoverde-PE (ZB-7) e Pão de Açúcar-AL (ZB-8). Os resultados mostraram que Mata Grande apresentou maiores similaridades com Arcoverde, enquadrando a cidade objeto do estudo na Zona 7, não na Zona 8, à qual pertence.

2.3. Modelos bioclimáticos para o projeto arquitetônico

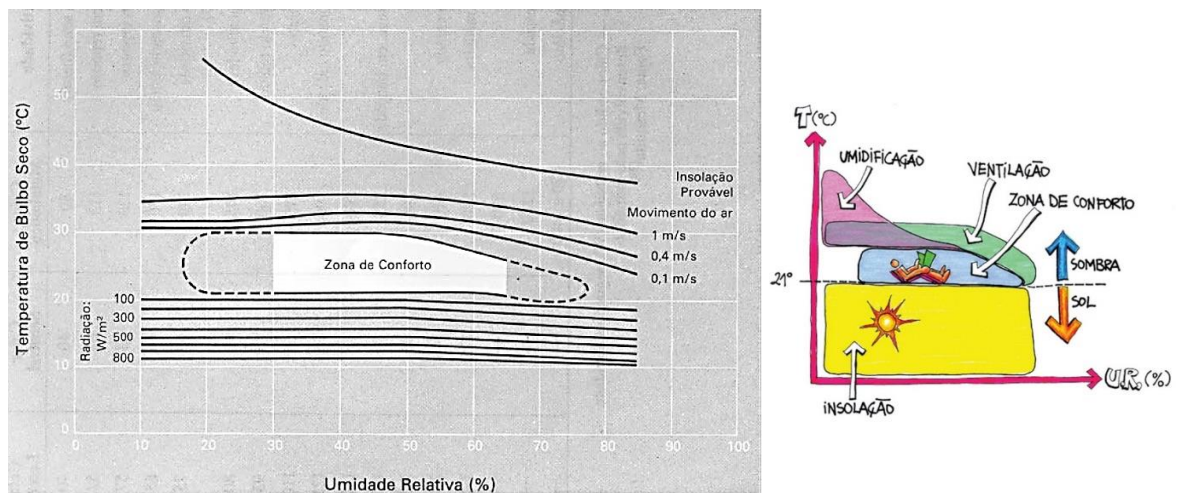
Como visto, diversos são os critérios para a definição de um zoneamento bioclimático. Todos têm em comum a busca pela melhor descrição da dinâmica entre as condições climáticas do entorno e a edificação. Entretanto, alguns modelos bioclimáticos se destacam como os mais consolidados, seja como parâmetro para a definição de zoneamentos, seja no auxílio à tomada de decisões de projetistas de forma individualizada. Dentre eles, pode-se destacar as Cartas Bioclimáticas, os arquivos de representação climática e as Planilhas de Mahoney.

2.3.1. Cartas Bioclimáticas

As Cartas Bioclimáticas “facilitam a análise das características climáticas de um dado local sob o ponto de vista do conforto humano, enquanto apresentam, sobre uma carta psicrométrica, a combinação corrente de temperatura e umidade em qualquer período dado” (GIVONI, 1997, p. 23, tradução livre¹⁷).

Olgay foi um dos primeiros a propor um diagrama bioclimático sugerindo estratégias de adaptação da arquitetura ao clima, denominada Carta Bioclimática de Olgay, publicada em 1968 e ilustrada na Figura 7.

¹⁷ “Bio-Climatic Charts facilitate the analysis of the climatic characteristics of a given location from the viewpoint of human comfort, as they present, on a psychrometric chart, the concurrent combination of temperature and humidity at any given time”.

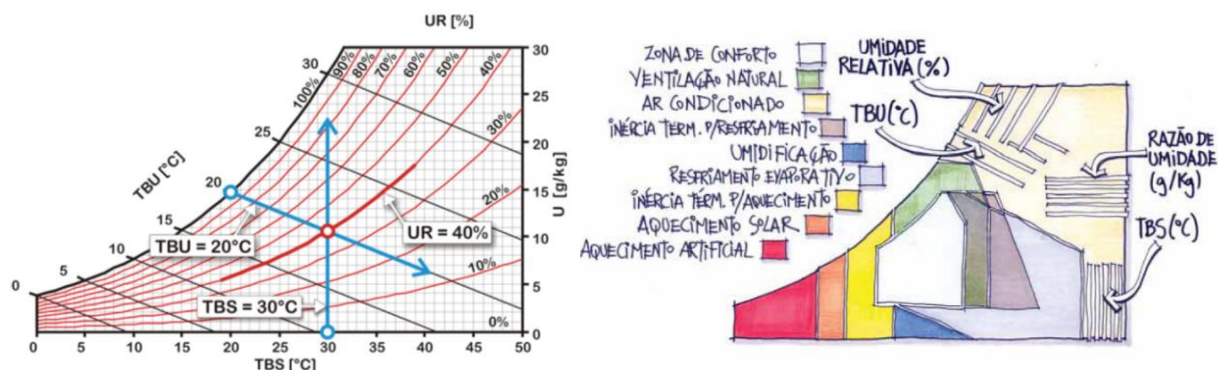
Figura 7 – Exemplos de Carta Bioclimática de Olgay para de regiões de clima quente

Fonte: FROTA, 2001 (à esquerda), LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013 (à direita)

O autor elaborou o gráfico bioclimático após estudos acerca dos efeitos do clima sobre o homem (independentemente de o usuário estar abrigado), de zonas de conforto e de relações entre elementos de clima e conforto (FROTA, 2001), baseados em dados climáticos da Colômbia (ROMERO, 2015, p. 16). Como resultado, a Carta permitia a identificação das necessidades de proteção contra os elementos do clima e o registro da variedade destes elementos, possibilitando a integração dessas informações ao planejamento urbano (seleção do sítio, dos espaços públicos, da vegetação etc.) e arquitetônico (tipo de planta, orientação, elementos construtivos etc.) (ROMERO, 2015, p. 16).

Em 1969, o arquiteto Baruch Givoni propôs uma nova Carta Bioclimática, corrigindo algumas limitações da Carta de Olgay e direcionada para a adaptação da arquitetura ao clima, enquanto Olgay aplicava seu diagrama para as condições externas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013, p. 84). Em 1992, Givoni propôs a Carta Bioclimática para países em desenvolvimento (GIVONI, 1992). A Carta trata-se de um diagrama psicrométrico dividido em zonas nas quais os dados climáticos de determinada localidade são distribuídos. A distribuição dos dados sobre as diferentes zonas da Carta determina as estratégias bioclimáticas mais adequadas àquela localidade, como exemplificado na Figura 8.

Figura 8 – Carta Psicrométrica e as relações entre temperatura e umidade (à esquerda) e Carta Bioclimática adotada para o Brasil e suas zonas (à direita)



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013

A obtenção das estratégias a partir da Carta Bioclimática de Givoni pode ser feita com auxílio do programa *Analysis BIO*, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), uma vez que o mesmo gera uma carta adaptada da Carta Bioclimática de Givoni (1992) para países em desenvolvimento, conforme descrito em Bogo *et al.* (1994). A delimitação das zonas correspondentes às diferentes estratégias de condicionamento da Carta gerada pelo programa também está baseada no método proposto por Watson e Labs (1983, *apud* BATISTA, 2006, p. 71), cujo autores “usam dados climáticos das 8760 horas de um ano típico, o TRY” (PASSOS, 2009, p. 86).

Os dados analisados podem ser de duas procedências: das Normais Climatológicas ou dos dados de um ano climático típico.

De modo geral, as Normais Climatológicas são médias dos dados climáticos de determinadas variáveis durante o período de 30 anos. São usadas, essencialmente, para dois propósitos: dados de referência a partir dos quais observações recentes podem ser comparadas e dados de referência para previsão das condições mais prováveis de ocorrência em um determinado local (WMO, 2011, p. 4-15, tradução livre¹⁸). Na inexistência de registro de 30 anos de dados climáticos, os valores médios podem ser calculados a qualquer momento, desde que se refiram a um período de, pelo menos, 10 anos a partir de 1 de janeiro de um ano que termina com o dígito 1 (WMO, 2011, p. 4-16, tradução livre)¹⁹. Nesse caso, denomina-se Normais Provisórias.

¹⁸ “Climate normals are used for two principal purposes. They serve as a benchmark against which recent or current observations can be compared, including providing a basis for many anomaly-based climate datasets (for example, global mean temperatures). They are also widely used, implicitly or explicitly, as a prediction of the conditions most likely to be experienced in a given location”.

¹⁹ “Averages (also known as provisional normals) may be calculated at any time for stations not having 30 years of available data. Period averages are averages computed for any period of at least ten years starting on 1 January of a year ending with the digit 1[...]”.

Com relação ao ano climático típico, há duas metodologias consolidadas para sua definição, ambas originadas para cálculos de energia usuais nos Estados Unidos: o *Test Reference Year* (TRY), que foi elaborado pelo *National Climatic Center*, e o *Typical Meteorological Year* (TMY) que foi elaborado pelo *Sandia Laboratories*, na cidade de Albuquerque (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998, p. 7).

Um TRY (Ano Climático de Referência) é uma série de informações climáticas para 8.760 horas referentes a um ano real que represente o comportamento climático mais comum de uma localidade. Por isso, o TRY deve apresentar o mínimo de variações com relação àquilo que normalmente ocorre no que se refere ao comportamento climático de determinada localidade. O ano é escolhido pela eliminação dos dados extremos de temperatura média mensal do ar.

Lamberts, Dutra e Pereira (2013) defendem o uso do TRY afirmando que,

devido à variabilidade do tempo meteorológico de dia para dia, e ao fato de a resposta térmica da edificação estar, muitas vezes, ligada ao dia anterior, a análise das Normais, de dias típicos de verão e inverno ou de temperaturas de projeto, não é suficiente para avaliar o desempenho energético de um edifício com precisão. O Ano Climático de Referência [...] é a base de dados mais precisa para uma análise completa da adequação da edificação ao clima local. Fornece a possibilidade de simulação horária do consumo de energia durante um ano, possibilitando a avaliação do custo-benefício de opções mais eficientes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013, p. 72).

O TMY (Ano Meteorológico Típico), por sua vez, é uma compilação de meses provenientes de diferentes anos, também escolhidos pela eliminação dos meses com temperaturas extremas, gerando um ano climático que nunca existiu, mas que representa um ano com temperaturas sem extremos para cada mês (NREL, 1995 *apud* CARLO, 2005). Os TMY são desenvolvidos pelo *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR) da UFSC (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013, p. 72).

São poucos os estudos realizados avaliando a adequabilidade da metodologia do TMY devido sua elaboração complexa. Estudo realizado por Nunes (2016) comparou o uso de TMY ao do TRY para representação de um ano típico em Arapiraca-AL. Os resultados não mostraram diferenças consideráveis. Dessa forma, para o presente estudo optou-se por adotar o TRY para obtenção do ano climático típico.

2.3.2. Planilhas de Mahoney

Outro modelo bastante consolidado no conhecimento de estratégias bioclimáticas é o Método de Mahoney Tradicional (MMT), também denominado Planilhas de Mahoney ou

Tabelas de Mahoney. O método foi desenvolvido pelo arquiteto Carl Mahoney e publicado em 1971 na *Climate and House Design* das Nações Unidas (*UNITED NATIONS*, 1971, *apud* KOENIGSBERGER *et al.*, 1977, p. 248).

O objetivo de Mahoney foi criar uma metodologia que permitisse a concepção de edificações de modo que se adequassem ao clima local, tornando-as, assim, mais eficientes (SENA, 2004, p. 19). O MMT consiste em três quadros preenchidos sequencialmente com dados climáticos médios de uma determinada localidade a fim de se obter, ao final do processo, recomendações projetuais compatíveis com o clima local para o partido arquitetônico (HARRIS; YEE, 2011, p. 193).

O MMT se mostrou contraditório para regiões de clima intermediário, indicando recomendações diferentes para dois grupos de dados climáticos estatisticamente iguais de uma mesma cidade, demonstrado por Harris (1999). “Esta inadequação é observada na mudança brusca e até inconsistente das recomendações finais devido a uma variação mínima dos dados de uma região com características climáticas de transição” (CHVATAL, 1998 *apud* HARRIS, 1999, p. 110). A autora identificou que a falha no método era devida à forma determinística como são analisadas as características dos dados climáticos e a definição das classificações dos grupos de bem-estar, uma vez que tratam de conceitos qualitativos.

Por isso, Harris (1999) remodelou o MMT por meio da Teoria dos Conjuntos Nebulosos (*Fuzzy Set Theory*) resultando no Método de Mahoney Nebuloso (MMN), o que possibilitou prever uma transição gradual dos parâmetros e permitiu uma análise mais realista dos dados climáticos (MORAES; TORRES; FREITAS, 2016, p. 2).

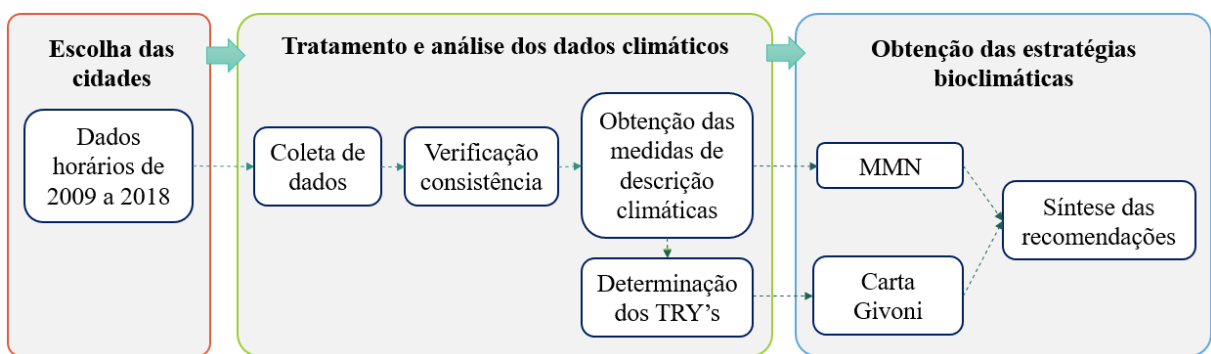
“A Teoria dos Sistemas Nebulosos é um conjunto de teorias e métodos capaz de modelar sistemas complexos e subjetivos” (SENA, 2004, p. 20). A teoria foi criada por Zadeh (1965, *apud* HARRIS, 1999) com o objetivo de modelar informações qualitativas que não possuem limites exatos, complementando as deficiências da matemática clássica (SENA, 2004). A Teoria dos Sistemas Nebulosos é adequada ao tratamento de variáveis qualitativas, como as usadas na definição dos grupos climáticos e na análise do rigor térmico do método de Mahoney. O MMN foi considerado eficaz na interpretação climática de cidades com climas de transição (HARRIS, 1999; SENNA, 2004; MORAES; TORRES; FREITAS, 2016).

O uso de arquivos e modelos bioclimáticos adequados são fundamentais para a obtenção das respostas construtivas mais coerentes com o clima local. Mais importante que isto, é que o projetista conheça as estratégias, suas limitações e que saiba interpretá-las.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados na presente pesquisa consistiram em quatro etapas distintas e sequenciais: (a) definição das cidades a serem estudadas; (b) obtenção, tratamento e a análise dos dados climáticos brutos de cada cidade; (c) determinação das estratégias bioclimáticas a partir dos métodos de Givoni (1992) e de Mahoney Nebuloso (1999); e, por fim, (d) síntese das recomendações projetuais para as cidades em estudo. A organização da metodologia pode ser melhor compreendida por meio da Figura 9.

Figura 9 – Esquemática da metodologia da dissertação



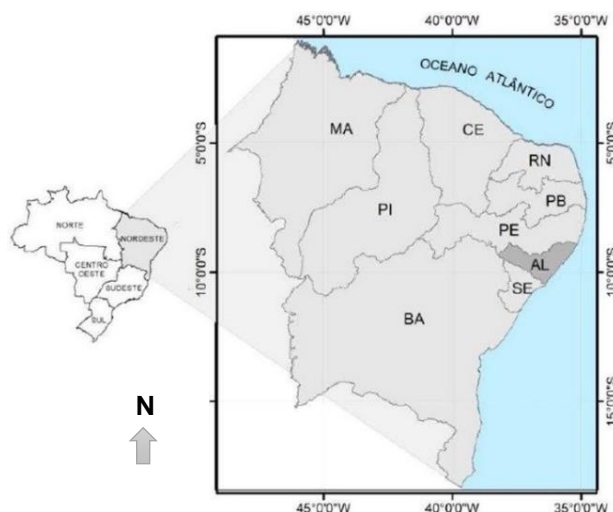
Fonte: Elaborada pela autora

Cada etapa dos procedimentos metodológicos é descrita na sequência.

3.1. Escolha das cidades

O universo do estudo foi o estado de Alagoas, localizado a leste da região Nordeste do Brasil. O estado limita-se com Pernambuco ao Norte, com Sergipe ao Sul, com a Bahia a Oeste, e com o oceano Atlântico a Leste, como visto na Figura 10.

Figura 10 – Localização do estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil



Fonte: BARROS *et al.*, 2012

Para definição das cidades alagoanas estudadas, definiu-se como critério de escolha o registro e a disponibilidade de dados climáticos confiáveis. Para tanto, foram selecionadas as cidades que possuem estações climáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Em Alagoas, o INMET possui estações meteorológicas convencionais (coletam dados em três horários do dia) e automáticas (coletam dados horários), conforme visto no Quadro 4.

Quadro 4 – Localização e data de instalação das estações meteorológicas do INMET em Alagoas

Convencionais		Automáticas	
Cidade	Abertura	Cidade	Abertura
Água Branca	05/05/1928	Arapiraca	27/04/2008
Maceió	01/01/1909	Coruripe	06/09/2008
Palmeira dos Índios	01/01/1928	Maceió	25/02/2003
Pão de Açúcar	14/03/1927	Palmeira dos Índios	11/07/2007
Porto de Pedras	14/03/1927	Pão de Açúcar	14/07/2007
-	-	Piranhas	20/09/2017
-	-	São Luís do Quitunde	08/09/2008

Fonte: INMET²⁰, 2018

A partir deste levantamento, optou-se por selecionar as cidades que possuem estações meteorológicas automáticas, devido a maior quantidade de dados disponíveis, bem como à facilidade de acesso aos mesmos. Além disso, observou-se que a distribuição das cidades que possuem estações automáticas no estado engloba diferentes tipos de clima, de altitude e de continentalidade. A localização das cidades selecionadas pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 – Localização das cidades alagoanas selecionadas para estudo



Fonte: Adaptada de Alagoas em Dados e Informações – Divisão Política de Alagoas (1ª Edição)²¹







²⁰ Endereços eletrônicos: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>> e <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>> Acesso em 14 de maio de 2018.

²¹ Imagem original disponível no endereço eletrônico: <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/d62668f9-079c-483a-ae5c-d9313b912bb9>>

Como visto na Figura 11, foram escolhidas seis cidades alagoanas: Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e São Luís do Quitunde. A estação da cidade de Piranhas foi eliminada da escolha devido a sua instalação ser recente, contando com poucos registros de dados até a realização desta pesquisa.

A obtenção dos dados climáticos foi feita diretamente do site do INMET²². Os dados usados consistem em temperatura do ar (máxima, mínima e instantânea), umidade relativa do ar (máxima, mínima e instantânea), velocidade e direção dos ventos e precipitação acumulada. A identificação de cada estação meteorológica, o período de dados obtidos nesta pesquisa e as informações sobre a locação das estações podem ser vistos no Quadro 5.

Quadro 5 – Período de abrangência do banco de dados de cada cidade estudada

Cidade	Estação	Início	Fim	Latitude	Longitude	Altitude	Implantação
<i>Arapiraca</i>	A353	mai/08	dez/18	-9.804551°	-36.619198°	237m	
<i>Coruripe</i>	A355	out/08	dez/18	-10.128482°	-36.286348°	82m	
<i>Maceió</i>	A303	out/08	dez/18	-9.551168°	-35.770195°	84m	
<i>Palmeira dos Índios</i>	A327	ago/07	dez/18	-9.420334°	-36.620371°	278m	
<i>Pão de Açúcar</i>	A323	ago/07	dez/18	-9.749220°	-37.430765°	21m	
<i>São Luís do Quitunde</i>	A356	out/08	dez/18	-9.287481°	-35.565878°	14m	

Fonte: Estações Automáticas - INMET²³

²² Endereço eletrônico: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>

²³ Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>

Como observado no Quadro 5, as estações automáticas foram implantadas em períodos distintos, ocasionando diferenças no tempo de registro de dados em cada uma delas. Dessa forma, para a presente pesquisa, definiu-se usar apenas os últimos 10 anos de dados disponíveis em cada estação, de forma a unificar o período e a quantidade de dados para todas as cidades. Assim, o período analisado corresponde a janeiro de 2009 a dezembro de 2018 para todas as seis cidades. A etapa seguinte consistiu no tratamento e análises destes dados.

3.2. Tratamento e análise dos dados climáticos

O tratamento dos dados consistiu em três etapas: verificação da consistência dos dados, obtenção de indicadores do clima de cada uma das cidades para compreensão climática e utilização das médias no MMN e determinação do Ano Climático de Referência (TRY) de cada local para utilização na Carta de Givoni.

3.2.1. Verificação da consistência dos dados climáticos

Os dados climáticos desempenham papel fundamental para a clareza e consistência dos resultados encontrados. Dessa forma, é importante que sofram o mínimo de distorções possível e que representem de forma fiel o contexto ao qual se referem.

Alguns fatores podem acarretar falhas ou erros na coleta de dados de uma estação meteorológica, como por exemplo, “falhas nos sensores, calibração dos equipamentos, falhas nas transmissões dos dados (telemetria), manutenção nos sistemas e intervenção de agentes externos” (BABA; VAZ; COSTA, 2014, p. 516). As lacunas geradas pelos dados faltantes podem ser de algumas horas ou mesmo de dias e meses inteiros, afetando a caracterização climática do local estudado. Por isso, é importante adotar um critério mínimo de dados consideráveis para que a base de dados disponível não gere resultados tendenciosos.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), as normais ou médias de um período devem ser calculadas somente quando os valores estiverem disponíveis para pelo menos 80% dos anos de registro, com não mais que três anos consecutivos de dados faltosos (WMO, 2011, p. 4-17, tradução livre²⁴).

Além disso, um valor médio mensal não deve ser calculado se estiverem faltando mais de dez valores diários ou cinco ou mais valores diários consecutivos (regra dos 5/10). Já o valor

²⁴ “As a guide, normals or period averages should be calculated only when values are available for at least 80 per cent of the years of record, with no more than three consecutive missing years”.

mensal de precipitação ou insolação só deve ser calculado quando todas as observações diárias estiverem disponíveis ou se houver algum dia ausente incorporado em uma observação acumulada durante o período de dados perdidos no dia em que as observações são retomadas (WMO, 2011, p.4-17, tradução livre²⁵).

Dessa forma, posteriormente à tabulação dos dados climáticos, realizou-se levantamento do percentual de dados faltantes, ano a ano, a fim de selecionar aqueles em condições de uso para o estudo climático das cidades, de acordo com as orientações da OMM (WMO, 2011). Como já citado, a OMM recomenda o cálculo das médias de determinada variável apenas quando os valores estiverem disponíveis para pelo menos 80% dos anos de registro. A Tabela 1 mostra a verificação da quantidade horas em que não houve registro de dados durante o período de 2009 a 2018 nas seis cidades estudadas.

Tabela 1 – Somatório das horas com dados inexistentes durante o período de 2009 a 2018

Cidade	Arapiraca		Coruripe		Maceió		Palmeira dos Índios		Pão de Açúcar		São Luís do Quitunde	
	<i>h</i>	%	<i>h</i>	%	<i>h</i>	%	<i>h</i>	%	<i>h</i>	%	<i>h</i>	%
Dados inexistentes												
Temperatura do ar²⁶	4156	4,74	3452	3,94	498	0,57	2632	3,00	5227	5,96	5082	5,80
Umidade Relativa do ar	4856	5,54	3456	3,94	500	0,57	3133	3,57	7340	8,37	5244	5,98
Precipitação	7971	9,09	14125	16,12	989	1,13	3367	3,84	8895	10,15	8494	9,69
Ventilação	2802	3,20	3482	3,97	517	0,59	2599	2,97	5203	5,94	5117	5,84

Fonte: Elaborada pela autora

Nesta pesquisa, aplicou-se este critério também na verificação mensal de modo que foram excluídos dos cálculos os meses com mais de 20% de dados faltantes, bem como os anos completos na mesma situação (20% de dados faltantes) considerando todas as variáveis²⁷. Não foi adotada a regra dos 5/10 (WMO, 2011) por considerar-se que o critério dos 80% de dados disponíveis é mais restritivo. Os percentuais de dados faltantes de todas as cidades em cada mês, ano e variável podem ser vistos no Apêndice A.

Optou-se pelo não preenchimento das lacunas por se considerar o processo inviável, dadas a quantidade de dados utilizada na presente pesquisa, o número de variáveis estudadas.

²⁵ "It is recommended that a monthly value should not be calculated if more than ten daily values are missing or five or more consecutive daily values are missing. In the case of elements for which the monthly value is a sum of daily values rather than a mean (such as for rainfall or sunshine), a monthly value should be calculated only if either all daily observations are available, or if any missing days are incorporated in an observation accumulated over the period of missing data on the day when observations resume".

²⁶ Os dados de temperatura dos meses de março e abril de 2018 de Arapiraca foram excluídos devido a apresentarem inconsistências.

²⁷ A avaliação da variável precipitação também foi submetida a esta regra devido à complexidade da verificação conforme a regra específica para dados pluviométricos da WMO em dados horários.

Para a definição dos Anos Climáticos de Referência de cada cidade, como será visto posteriormente, é necessário que todos os meses dos anos analisados possuam temperatura média mensal. Assim, os anos que possuíram qualquer mês com mais de 20% de lacunas foram excluídos da análise para determinação do TRY, mesmo que o total anual de lacunas seja inferior a 20%.

3.2.2. Obtenção de medidas de descrição climáticas

Os dados climáticos foram tratados por meio de estatística descritiva para obtenção dos indicadores de descrição climáticos de cada cidade em estudo. A ferramenta utilizada para viabilizar a manipulação dos dados foi o programa *Microsoft Office Excel*[®]. Por meio da tabulação dos dados em planilhas, foram obtidos os valores das máximas, mínimas e médias diárias, mensais e anuais das variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar. Também foram gerados os totais pluviométricos diários, mensais e anuais.

Quanto ao comportamento da ventilação, a análise foi embasada nos estudos feitos por Gois e Baltrusch (2013), por Oliveira-Júnior, Terassi e Gois (2017) e por Nunes *et al.* (2018). A análise do padrão dos ventos foi feita com o programa *WRplot View*²⁸. O programa aceita arquivo com extensão “.xls” contendo dados de velocidade média e direção dos ventos e precipitação, o qual foi convertido em arquivo no formato “.sam” no próprio programa, tornando possível confeccionar gráficos mensais e anuais do tipo rosa dos ventos com a indicação das direções predominantes e as faixas de velocidade dos ventos. Os ventos foram categorizados segundo a escala de Beaufort de força dos ventos apresentada por Nunes *et al.* (2018).

No programa, também foram gerados gráficos tipo rosas-de-chuvas com informações sobre ocorrência e direção das chuvas, com frequência mensal e anual, categorizadas segundo a escala apresentada por Leite, Adacheski e Virgens Filho (2011).

Cabe destacar, entretanto, uma limitação do programa *WRplot View*. O programa importa arquivos no formato “.xls”, ou seja, em modo de compatibilidade, o que limita a planilha em 65.536 linhas. Dessa forma, não foi possível fazer a análise considerando os últimos 10 anos, como ocorreu na análise das outras variáveis. Assim, devido a esta limitação no

²⁸ Software freeware

número de linhas da planilha, foram escolhidos os 7 anos completos com maior número de dados disponíveis, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Anos selecionados para análise de ventilação

Cidades	Arapiraca	Coruripe	Maceió	P. dos Índios	P. de Açúcar	S. L. do Quitunde
Anos selecionados	2009	2009	2009	2009	2009	2009
	2010	2011	2010	2010	2010	2010
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
	2012	2013	2014	2014	2012	2013
	2013	2014	2015	2016	2015	2015
	2014	2015	2016	2017	2016	2016
	2015	2016	2017	2018	2017	2018

Fonte: Elaborada pela autora

A partir dos valores descritivos do comportamento climático obtidos para cada cidade referentes a cada variável, foram gerados gráficos, cujas análises permitiram compreender os perfis climáticos das cidades em estudo.

3.2.3. Determinação dos Anos Climáticos de Referência (TRY)

A análise para se obter o Ano Climático de Referência (*Test Reference Year* ou TRY) de cada cidade, seguiu os procedimentos descritos por Goulart, Lamberts e Firmino (1998) e por Tavares (2011).

A metodologia para identificação do TRY utilizou somente as temperaturas médias mensais de uma série de anos proposta. O procedimento consistiu na eliminação de anos de dados que continham temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas). O último ano a aparecer foi determinado como TRY.

Tavares (2011) cita que um arquivo TRY deveria considerar um período mínimo de 10 anos consecutivos de séries de dados climáticos, porém Goulart (2010, *apud* TAVARES, 2011) ponderou que “é importante dar preferência para uma série de anos mais atuais, mesmo que seja uma série menor que 10 anos”. Neste estudo, o período disponível para a análise e determinação dos TRY's foi de 2009 a 2018 (10 anos), porém, devido à regra de eliminar meses com menos de 80% de dados disponíveis (WMO, 2011), não foi possível calcular todas as temperaturas médias mensais e, conseqüentemente, nenhuma cidade contou com 10 anos na análise do TRY.

Para cada uma das seis cidades, organizou-se uma tabela com todas as temperaturas médias mensais do período em questão. Em seguida, foi verificado qual o mês mais quente entre todas as médias disponíveis e, logo em seguida, qual o mês mais frio. Estas informações

foram anotadas acompanhadas dos anos nos quais estas temperaturas médias foram registradas e então o procedimento foi repetido, mas, desta vez, desconsiderando os meses já selecionados em todos os anos disponíveis, ou seja, a análise continuou considerando apenas 10 meses. O procedimento foi repetido novamente contando com os 8 meses restantes e assim sucessivamente até que todos os 12 meses fossem ordenados na sequência em que apareceram.

Após a organização das informações dos meses extremos na ordem em que apareciam, a condição oposta foi verificada para cada um dos meses encontrados. Para um mês selecionado como “mais frio”, por exemplo, foi buscado o ano em que aquele mesmo mês registrou sua maior temperatura média (“mais quente”). O processo se repetiu para cada um dos meses. Estas informações também foram anotadas na ordem em que apareceram.

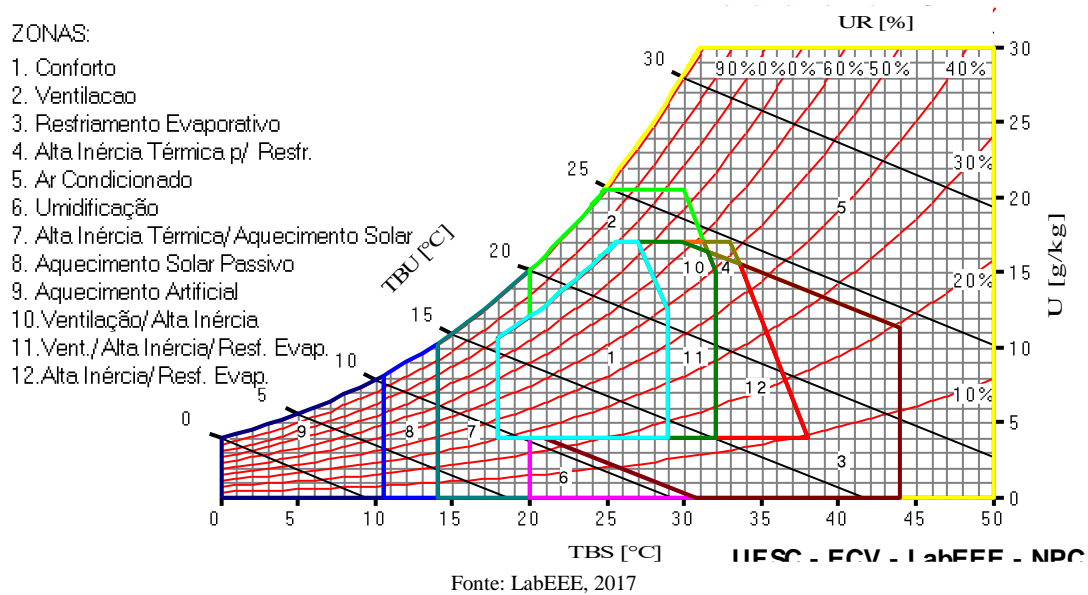
Seguindo a sequência em que os 12 pares de meses apareceram, o ano ao qual o mês de temperatura extrema pertencia foi eliminado. O último ano a aparecer foi determinado como TRY. As análises para a obtenção dos TRY's de cada cidade podem ser vistas no Apêndice B.

3.3. Obtenção das estratégias projetuais bioclimáticas

Nesta pesquisa, foram adotadas duas metodologias para o conhecimento das recomendações projetuais bioclimáticas indicadas para cada cidade estudada: a Carta Bioclimática de Givoni (1992) e o Método de Mahoney Nebuloso (1999).

3.3.1. Carta Bioclimática de Givoni

A Carta Bioclimática de Givoni é um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013, p. 84). Givoni (1992) dividiu um diagrama psicrométrico em zonas representantes das diferentes estratégias bioclimáticas nas quais os dados climáticos são plotados. A distribuição dos dados sobre a carta determina as recomendações mais adequadas àquela localidade. Nesta pesquisa, a obtenção das estratégias a partir da Carta de Givoni foi feita com auxílio do programa *Analysis BIO*. A Carta, gerada pelo programa, e suas zonas podem ser vistas na Figura 12.

Figura 12 – Carta Bioclimática de Givoni gerada pelo programa *Analysis BIO*

Os dados do Ano Climático de Referência (TRY) de cada cidade foram tabulados com o auxílio do programa *Microsoft Office Excel*[®], em colunas ordenadas conforme recomendado para a criação de um arquivo “csv”²⁹. As colunas Mês, Dia, Hora, Temperatura de Bulbo Seco (°C), Temperatura de Bulbo Úmido (°C), Temperatura de Ponto de Orvalho (°C), Pressão Atmosférica (kPa), Umidade Relativa (%), Velocidade do Vento (m/s) e Direção do Vento (graus) foram preenchidas com os dados climáticos de cada cidade. As demais colunas foram preenchidas com “0” (zero).

Em seguida, os arquivos foram convertidos ao formato “.csv” (*Comma Separated Values* – Valores Separados por Vírgulas) e inseridos no programa *Analysis BIO 2.2*. Este plotou os dados climáticos existentes diretamente sobre a Carta Bioclimática e forneceu um relatório com as porcentagens de aplicabilidade de cada estratégia para o local em estudo.

3.3.2. Método de Mahoney Nebuloso

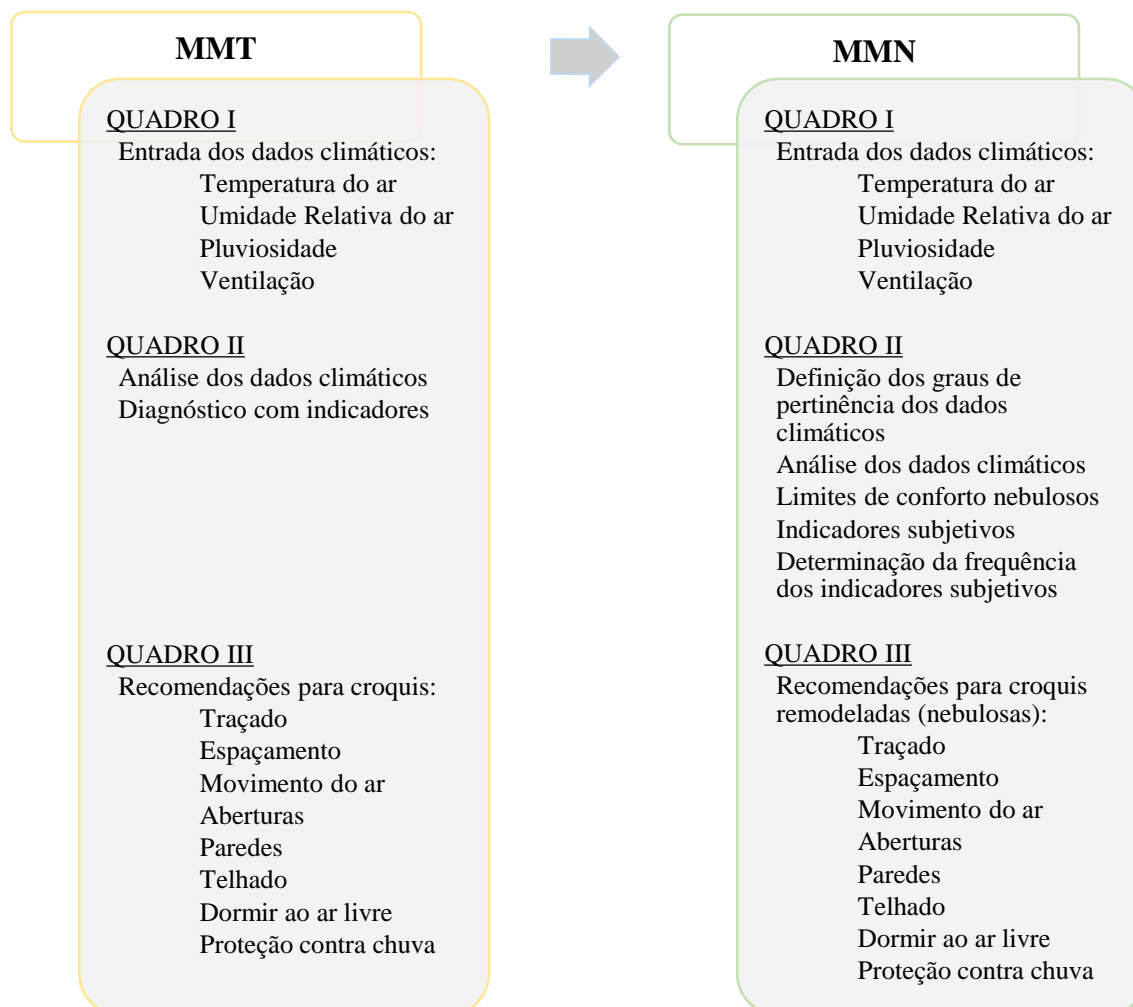
O Método de Mahoney Nebuloso (MMN) é uma adaptação do Método de Mahoney Tradicional (MMT) por meio da lógica nebulosa. Uma vez que o MMT é inadequado para regiões de clima intermediário (HARRIS, 1999) e que Arapiraca e Palmeira dos Índios estão situadas entre a costa úmida e o interior semiárido do Nordeste, optou-se pela utilização do MMN a fim de se obter resultados satisfatórios para todas as localidades estudadas por meio do mesmo método.

²⁹ Recomendação de ordenamento para a criação de um arquivo “csv” disponível no endereço eletrônico: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-bio>> Acesso em 30 de março de 2019.

O MMN possui a mesma estrutura que o MMT, porém foram aplicadas operações próprias de um conjunto nebuloso às informações de natureza vaga (SENA, 2004, p. 32). Um conjunto é denominado nebuloso (*fuzzy set*) quando seus limites não são definidos com exatidão (HARRIS, 1999, p. 21). Estes conjuntos são utilizados na definição de conceitos de caráter subjetivo como, por exemplo, temperatura “baixa” ou “alta”. Cada conceito qualitativo (baixa, alta...) é representado por um conjunto nebuloso e cada dado climático é avaliado quanto a sua pertinência com relação a este conjunto. Quanto mais próximo de 1 for o grau de pertinência deste dado, maior a adequação deste dado àquele conjunto (HARRIS, 1999, p. 21).

Os procedimentos metodológicos desta pesquisa foram embasados nos estudos de Harris (1999), de Sena (2004) e de Moraes, Torres e Freitas (2016). Assim, como o MMT, o MMN também é composto por três quadros que foram preenchidos com os dados médios das cidades, conforme requerido, a fim de se obter as recomendações construtivas coerentes com o clima local. Os esquemas do funcionamento do MMT e do MMN são vistos na Figura 13.

Figura 13 – Representação esquemática do MMT e do MMN



O Quadro I em ambos os métodos se refere a entrada de dados climáticos e definição dos Grupos de Umidade para cada mês. No MMT, são solicitados dados médios de temperatura máxima mensal, temperatura mínima mensal, amplitude térmica mensal, maior temperatura máxima, menor temperatura mínima, temperatura anual, amplitude térmica anual, umidade relativa máxima mensal, umidade relativa mínima mensal, umidade relativa mensal, pluviosidade mensal e direções dos ventos dominantes e secundários mensais. O Quadro I do MMT pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Quadro I do Método de Mahoney Tradicional

* *Dados Locais*

Local:	Latitude:
Altitude:	Longitude:

* *Determinação dos parâmetros referentes a Temperatura Média*

Temperatura Média em °C	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal de temperatura (TM _{máx})												
Mínima média mensal de temperatura (TM _{mín})												
Amplitude Térmica mensal (AT)												

Maior Máxima (médias mensais da temperatura - TM _{máx})		Temperatura Média Anual (TMA)	
Menor Mínima (médias mensais da temperatura - TM _{mín})		Amplitude Térmica Anual (ATA)	

* *Determinação dos parâmetros referentes a Umidade Relativa, Pluviosidade e Ventos*

Umidade Relativa em %	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima média mensal pela manhã (UR _{máx})												
Mínima média mensal pela tarde (UR _{mín})												
Umidade Relativa Média (URM)												
Grupo de Umidade (GU)												

Grupos de Umidade (GU)	1	URM <30%
	2	30 < URM < 50%
	3	50 < URM < 70%
	4	URM > 70%

Pluviosidade em mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pluviosidade Mensal (PL)												

Direção dos Ventos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vento dominante												
Vendo secundário												

Fonte: Adaptada de KOENISGBERGER *et al.*, 1977

No Quadro I do MMT, também são determinados os Grupos de Umidade (GU) ao qual cada mês pertence. Os quatro grupos de umidade foram determinados por Mahoney de modo a se adequar a qualquer tipo de clima, porém Alucci, Carneiro e Baring (1986 *apud* SENA, 2004, HARRIS; YEE, 2011) adaptaram essa classificação aos climas brasileiros resultando em apenas dois Grupos Higrotérmicos (GH), como vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Determinação do Grupo de Umidade do MMT

Koenigsberger (1977)		Alucci, Carneiro e Baring (1986)	
URM (%)	GU	URM %	GH
< 30	1	≤ 70	Seco
30 - 50	2		
50 - 70	3		
> 70	4	> 70	Úmido

Fonte: Adaptada de HARRIS, 1999

No MMN, a entrada de dados ocorre de maneira semelhante, porém também é verificado o grau de pertinência de cada dado mensal com relação à característica subjetiva a ela relacionada. Para os dados de temperatura média mensal (TM), são analisados os graus de pertinência (μ) quanto aos conjuntos nebulosos TM_{alta} , $TM_{média}$ e TM_{baixa} . Para os dados de amplitude térmica mensal (AT), os graus de pertinência são analisados quanto aos conjuntos $AT_{pequena}$ e AT_{grande} . Os dados de unidade relativa média (URM) são avaliados quanto ao seu pertencimento aos conjuntos nebulosos URM_{seco} e $URM_{úmido}$. E, por fim, os dados de pluviosidade (PL) são analisados quanto a sua pertinência ao conjunto PL_{alta} . O Quadro I do MMN pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Quadro I do Método de Mahoney Nebuloso

Temperatura (°C)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM_{MÁx}												
TM_{MÍN}												
TM												
μ TM_{Alta}												
μ $TMMédia$												
μ $TMBaixa$												
AT (°C)												
μ AT_{Grande}												
μ $AT_{Pequena}$												
URM (%)												
μ URM_{Seco}												
μ $URMUmido$												
PL Média (mm)												
μ PL_{Alta}												

Fonte: Adaptada de SENA, 2004

A verificação das pertinências (μ) dos dados climáticos a determinado conjunto nebuloso pode ser melhor compreendida visualizando a modelagem destes conjuntos. O Quadro 6 mostra a remodelagem dos parâmetros do MMT no MMN.

Quadro 6 – Remodelagem dos parâmetros do MMT no MMN

Conjuntos nebulosos	Conjuntos modelados (Gráficos)
Temperatura “baixa”, “média” e “alta”	
Amplitude térmica “pequena” e “grande”	
Umidade relativa média “seco” e “úmido”	
Pluviosidade “alta”	

Fonte: Adaptado de SENA, 2004

Para os conjuntos nebulosos de temperatura, a pertinência (eixo das ordenadas) de cada dado climático é obtida por meio do cruzamento dos valores das temperaturas (eixo das abcissas) nos gráficos estabelecidos para os conjuntos “baixa”, “média” e “alta”. De modo análogo, para os conjuntos nebulosos de amplitude térmica, umidade relativa média e pluviosidade, a pertinência (eixo das ordenadas) de cada dado climático é obtida por meio do cruzamento dos valores de cada variável (eixo das abcissas) nos gráficos estabelecidos para seus respectivos grupos nebulosos.

A etapa seguinte é a análise dos dados climáticos apresentada no Quadro II, caracterizado por realizar um diagnóstico dos dados climáticos de modo a detectar o rigor térmico mensal diurno e noturno e a apresentar a frequência anual dos indicadores climáticos. O Quadro II de ambas as metodologias é dividido em duas partes. A primeira delas diz respeito à definição dos grupos de Rigor Térmico. No MMT, a definição do Rigor Térmico mensal é dada por meio de inferência utilizando regras que relacionam a temperatura média anual e a umidade relativa do ar, por meio dos limites de Bem Estar para o dia e para a noite e dos Grupos de Umidade, para definir os Limites de Conforto, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Carta para os Limites de Conforto (adaptada de Alucci, Carneiro e Baring, 1986) do MMT

URM (%)	GU	TMA > 20°C		15°C ≤ TMA ≤ 20°C		TMA < 15°C	
		BEdia	BEnoite	BEdia	BEnoite	BEdia	BEnoite
		Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
≤ 70	<i>Seco</i>	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
> 70	<i>Úmido</i>	22-27	17-22	20-25	14-20	18-24	12-18

Fonte: Adaptada de HARRIS, 1999

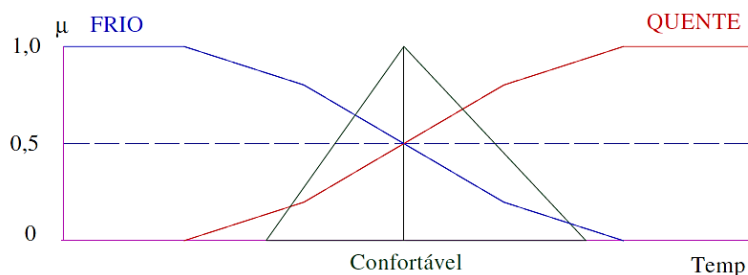
Utilizando o valor da TMA e o GU, são verificados quais os limites de conforto diurnos e noturnos para cada mês. O Rigor Térmico diurno é determinado analisando se a temperatura máxima daquele mês é inferior aos limites (frio), se está dentro dos limites (confortável) ou se é superior aos limites (quente) de conforto. O Rigor Térmico noturno é determinado da mesma forma, porém utilizando os dados de temperatura mínima mensal. Os resultados são anotados em quadro semelhante ao Quadro 7 para verificação posterior.

Quadro 7 – Verificação dos Rigores Térmicos mensais diurnos e noturnos pelo MMT

RT _{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Frio												
Confortável												
Quente												
RT _{noite}												
Frio												
Confortável												
Quente												

Fonte: SENA, 2004

Já no MMN, é utilizada a Inferência ou Lógica Nebulosa, ou seja, Harris (1999) remodelou as regras de inferência de modo a obter os denominados Limites de Conforto Nebulosos. Ao fim do processo de remodelagem³⁰, obteve-se o gráfico da Figura 14 no qual são verificadas as pertinências (μ) das temperaturas mensais aos conjuntos nebulosos “frio”, “confortável” e “quente”.

Figura 14 – Conjuntos nebulosos para a definição dos Rigores Térmicos no MMN

Fonte: SENA, 2004

³⁰ A definição dos limites de conforto nebulosos é detalhada em Harris (1999, p. 120) e em Sena (2004, p. 36).

Para se obter o grau de pertinência (μ) do Rigor Térmico diurno (RT_{dia}), é necessário inserir os valores de temperatura máxima ($TM_{\text{máx}}$) na abscissa do plano e verificar em que ponto da ordenada ocorre a intercepção da $TM_{\text{máx}}$ com os conjuntos nebulosos “frio”, “confortável” e/ou “quente”. O grau de pertinência do Rigor Térmico noturno (RT_{noite}) é obtido de forma semelhante, porém inserindo os valores de temperatura mínima ($TM_{\text{mín}}$) ao invés da $TM_{\text{máx}}$. Os resultados são registrados no Quadro 8.

Quadro 8 – Verificação dos Rigores Térmicos mensais diurnos e noturnos pelo MMN

RT_{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\mu_{RT_{\text{dia}} - \text{Frio}}$												
$\mu_{RT_{\text{dia}} - \text{Confortável}}$												
$\mu_{RT_{\text{dia}} - \text{Quente}}$												
RT_{noite}												
$\mu_{RT_{\text{noite}} - \text{Frio}}$												
$\mu_{RT_{\text{noite}} - \text{Confortável}}$												
$\mu_{RT_{\text{noite}} - \text{Quente}}$												

Fonte: SENA, 2004

A segunda parte do Quadro II trata da determinação da presença dos indicadores climáticos de umidade (H1, H2 e H3) e de aridez (A1, A2 e A3) em cada mês. “Esses indicadores são grupos de sintomas de rigor térmico climático, criados com o objetivo de orientar a aplicação das medidas corretivas que poderão ser adotadas pelo projetista” (SENA, 2004, p. 28). No MMT, cada indicador possui regras de inferência que definem sua condição de existência, como visto no Quadro 9.

Quadro 9 – Regras para detecção dos Indicadores de Umidade e Aridez pelo MMT

Indicador	Definição	Regras
H1	Movimento do ar essencial	Se $RT_{\text{dia}} = \text{Quente}$ e $URM > 70\%$ ou Se $RT_{\text{dia}} = \text{Quente}$, $URM \leq 70\%$ e $AT < 10^{\circ}\text{C}$
H2	Movimento do ar desejável	Se $RT_{\text{dia}} = \text{Confortável}$ e $URM > 70\%$
H3	Proteção contra chuvas necessária	Se $PL > 200\text{mm}$
A1	Armazenamento térmico necessário	Se $URM \leq 70\%$ e $AT \geq 10^{\circ}\text{C}$
A2	Local para dormir ao ar livre	Se $RT_{\text{noite}} = \text{Quente}$ e $URM \leq 70\%$ ou Se $RT_{\text{dia}} = \text{Quente}$, $RT_{\text{noite}} = \text{Confortável}$, $URM \leq 70\%$ e $AT \geq 10^{\circ}\text{C}$
A3	Proteção contra o frio	Se $RT_{\text{dia}} = \text{Frio}$

Fonte: Adaptado de SENA, 2004

A presença dos Indicadores de Umidade e Aridez são verificadas para cada mês e anotadas no Quadro 10, de modo a se obter a somatória de cada um destes indicadores ao longo do ano.

Quadro 10 – Frequência mensal e anual dos indicadores de umidade e aridez para o MMT

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
H1													
H2													
H3													
A1													
A2													
A3													

Fonte: Adaptado de KOENISGBERGER *et al.*, 1977

No MMN, Harris (1999) remodelou as regras para determinar os indicadores climáticos de cada mês utilizando operações de conjuntos nebulosos, segundo o Quadro 11.

Quadro 11 – Regras de inferência para os Indicadores Nebulosos de Umidade e Aridez pelo MMN

Indicador	Definição	Regras
μ_{H1}	Movimento do ar essencial	$\{\mu_{RTdia-Quente} [TM_{m\acute{a}x} (m\acute{e}s)] \wedge \mu_{URM-\acute{U}mido} (m\acute{e}s)\} \vee \{\mu_{RTdia-Quente} [TM_{m\acute{a}x} (m\acute{e}s)] \wedge \mu_{URM-Seco} (m\acute{e}s) \wedge \mu_{AT-Peque} (m\acute{e}s)\}$
μ_{H2}	Movimento do ar desejável	$\mu_{RTdia-Confort\acute{a}vel} [TM_{m\acute{a}x} (m\acute{e}s)] \wedge \mu_{URM-\acute{U}mido} (m\acute{e}s)$
μ_{H3}	Proteção contra chuvas necessária	$\mu_{PL-Alta} (m\acute{e}s)$
μ_{A1}	Armazenamento térmico necessário	$\mu_{AT-Grande} (m\acute{e}s) \wedge \mu_{URM-Seco} (m\acute{e}s)$
μ_{A2}	Local para dormir ao ar livre	$\{\mu_{RTnoite-Quente} [TM_{m\acute{i}n} (m\acute{e}s)] \wedge \mu_{URM-\acute{U}mido} (m\acute{e}s)\} \vee \{\mu_{RTdia-Quente} [TM_{m\acute{a}x} (m\acute{e}s)] \wedge \mu_{RTnoite-Confort\acute{a}vel} (m\acute{e}s) [TM_{m\acute{i}n} (m\acute{e}s)] \wedge \mu_{URM-Seco} (m\acute{e}s) \wedge \mu_{AT-Grande} (m\acute{e}s)\}$
μ_{A3}	Proteção contra o frio	$\mu_{RTdia-Frio} [TM_{m\acute{a}x} (m\acute{e}s)]$

Fonte: SENA, 2004

Enquanto no MMT as regras de inferência determinam se cada mês pertence aos indicadores climáticos, no MMN, é estabelecido o grau de pertinência (μ) mensal dos dados aos indicadores. “A frequência anual de cada um desses indicadores é dada pela somatória dos graus de pertinência mensais que representam o valor equivalente à quantidade de vezes que o indicador ocorreu durante o ano” (SENA, 2004, p. 42). A verificação da frequência mensal e anual dos indicadores climáticos pode ser vista no Quadro 12.

Quadro 12 – Frequência mensal e anual dos indicadores de umidade e aridez para o MMN

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}													
μ_{H2}													
μ_{H3}													
μ_{A1}													
μ_{A2}													
μ_{A3}													

Fonte: Adaptado de HARRIS, 1999

As 17 recomendações de projeto (R) são definidas pela frequência anual de um ou vários indicadores diferentes dentro dos intervalos estabelecidos no Quadro III do MMT, vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Definição das recomendações construtivas pelo MMT

H1	H2	H3	A1	A2	A3	Recomendações para croquis	
Traçado							
			0-10		5-12	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
			11-12		0-4	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
Espaçamento							
11-12						R3	Espaço aberto para penetração de brisa
2-10						R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0-1						R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
Movimento do ar							
3-12						R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
1-2			0-5			R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0	2-12					R8	Não é necessário o movimento do ar
	0-1						
Aberturas³¹							
			0-1		0	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
			11-12		0-1	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
Quaisquer outras condições						R11	Aberturas medianas, 20-40%
Paredes							
			0-2			R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
			3-12			R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
Coberturas							
			0-5			R14	Coberturas isoladas leves
			6-12			R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
Dormir ao ar livre							
				2-12		R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
Proteção para chuvas							
		3-12				R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

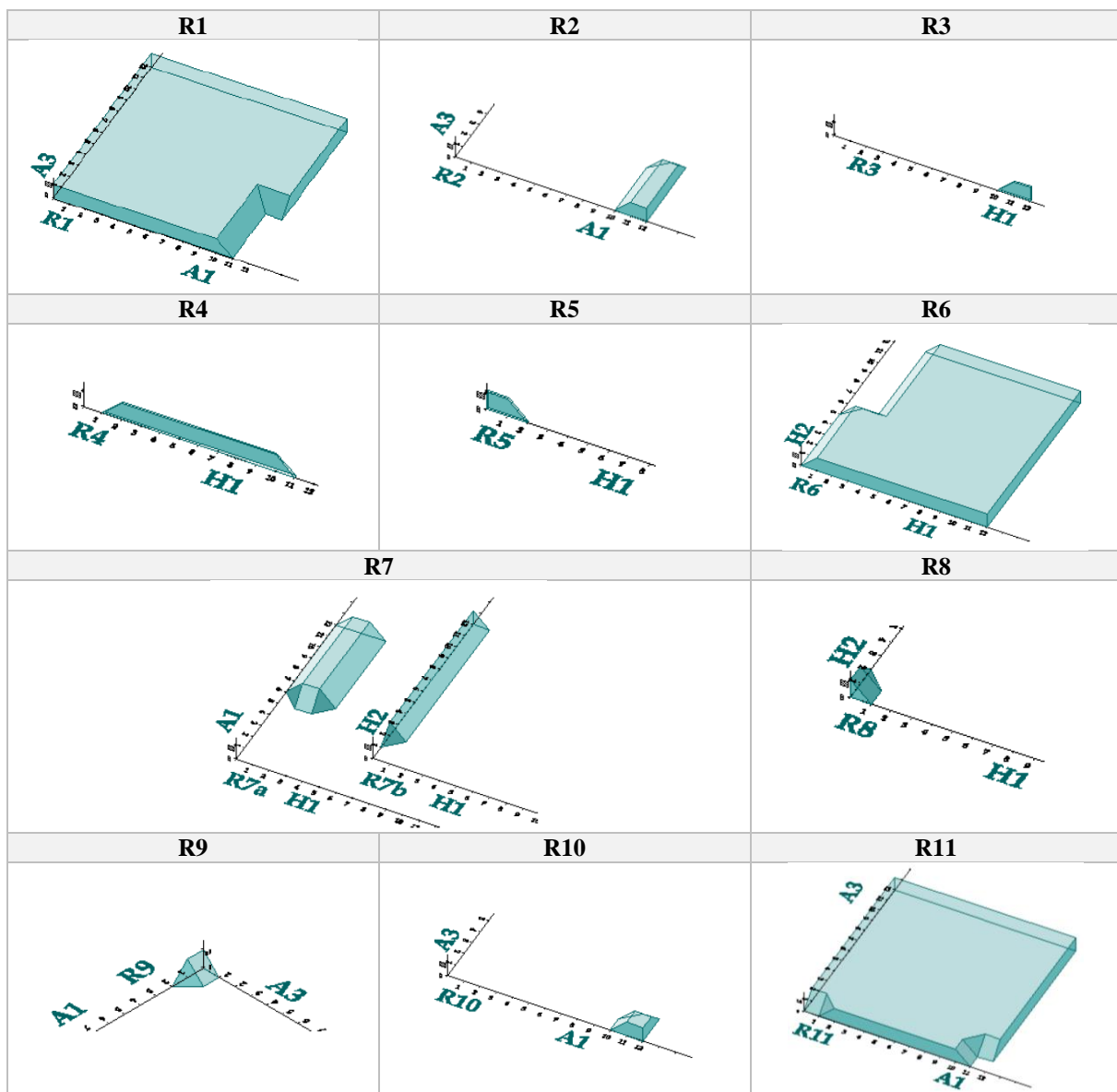
Fonte: Adaptada de KOENISGBERGER *et al.*, 1977

No MMN, cada recomendação é um conjunto nebuloso e, para encontrar seu grau de pertinência (μ), são utilizados os valores da frequência anual dos indicadores climáticos. Harris (1999) observou, no MMT, quais indicadores climáticos influenciavam na definição de cada

³¹ Área das aberturas com relação à área das paredes

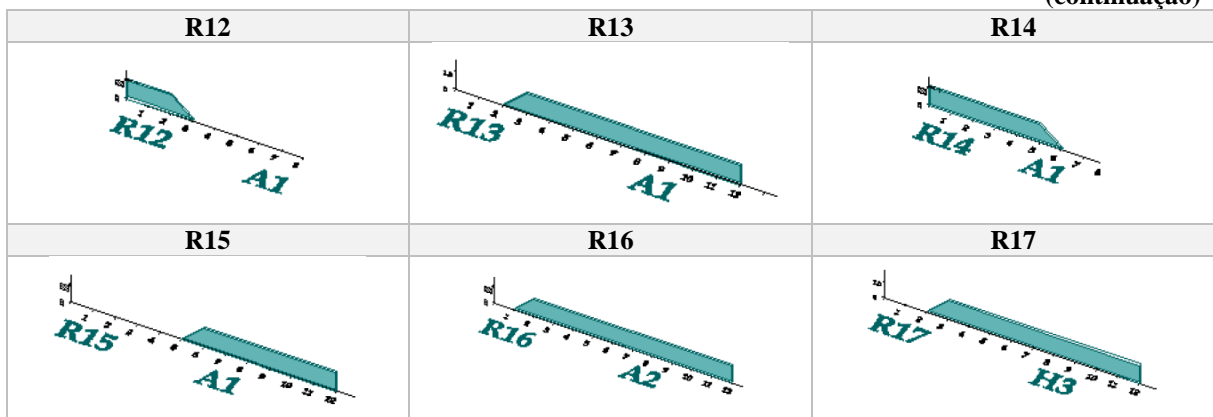
uma das 17 recomendações bioclimáticas (R) e como isso ocorria. Em seguida, a autora modelou cada recomendação em planos de duas ou três dimensões associando eixos dos indicadores climáticos definidores de cada estratégia (numa escala de 0 a 12, correspondente ao número de meses do ano) ao eixo referente à avaliação do grau de pertinência (numa escala de 0 a 1), como visto no Quadro 13. Nos valores limites de cada condição definidora de uma estratégia, foram criadas zonas de transição nebulosa, com a exceção dos valores extremos: 0 e 12. Assim, o grau de pertinência de cada recomendação é obtido pelo encontro do valor da frequência anual do(s) indicador(es) climático(s) no eixo das pertinências.

Quadro 13 – Modelagem das recomendações projetuais no MMN



(continua)

(continuação)



Fonte: HARRIS, 1999

Uma ferramenta que permite o acesso ao MMN de maneira simples e eficaz é o programa *MMN_{java}*, desenvolvido em linguagem Java (HARRIS; YEE, 2011, p. 197). A inserção dos dados climáticos de determinado local ao programa permitiria ao projetista a obtenção das 17 diretrizes iniciais para o projeto arquitetônico, bem como a visualização dos valores intermediários ao longo de todo o processo. Porém, não há “uma nova versão do aplicativo disponível para as plataformas atuais” (HARRIS, 2017). Assim, o Método foi modelado manualmente³² em linguagem Java e executado por meio do programa *Eclipse*³³, versão *Juno* (2012), até o Quadro II do MMN. As recomendações construtivas do Quadro III do MMN foram modeladas de acordo com Harris (1999) por meio do programa *SketchUp*[®] 2015.

³² Método modelado pelo Prof^o Dr. Odair Barbosa de Moraes seguindo instruções de Harris (1999) e Sena (2004).

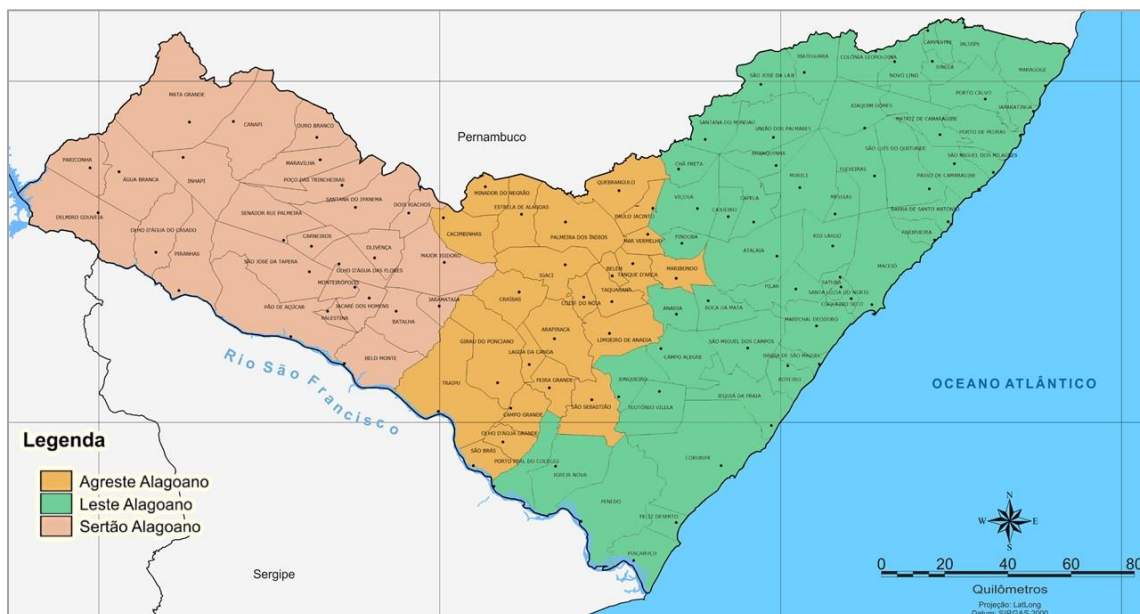
³³ IDE (*Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) para desenvolvimento Java.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS OBJETOS DO ESTUDO

O estado de Alagoas está situado entre as latitudes 8°48'12"S e 10°29'12"S e entre as longitudes 35°09'36"O e 38°13'54"O, possui uma população estimada em 3.375.823 pessoas (estimativa para o ano de 2017) e uma densidade demográfica de 112,33 hab/km², segundo o último Censo, abrangendo uma área territorial de 27.848,140 km² (IBGE, 2018a).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divide o estado de Alagoas em três Mesorregiões Geográficas de acordo com a intensidade e com a distribuição das chuvas: Sertão, Agreste e Leste alagoanos (PASSOS, 2009, p. 79), como visto na Figura 15.

Figura 15 – Mesorregiões do estado de Alagoas



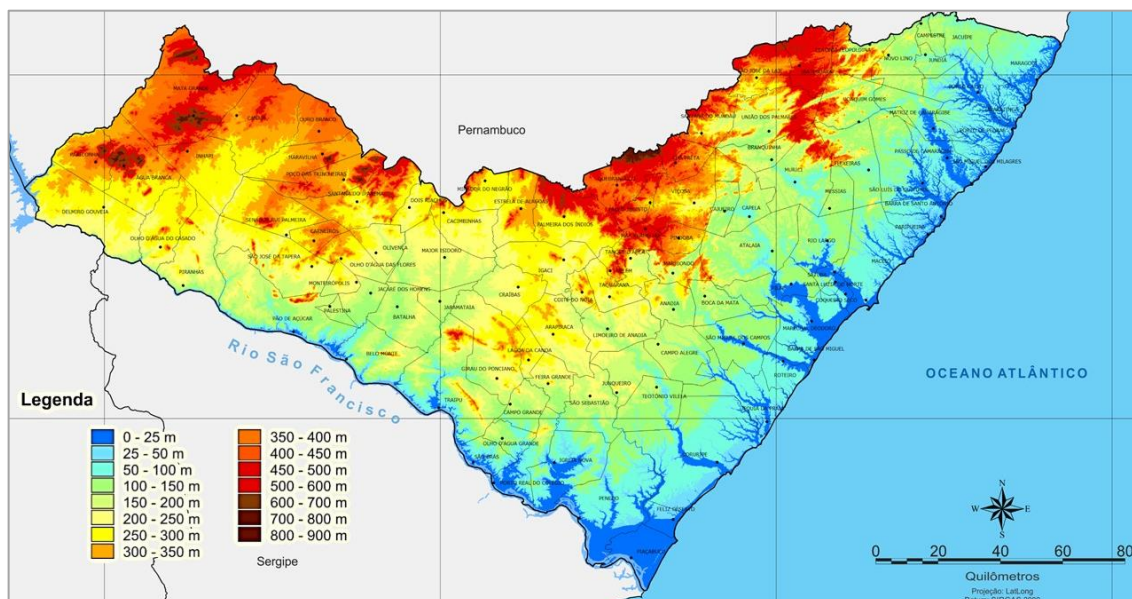
Fonte: Adaptada de Alagoas em Dados e Informações – Mesorregiões (3ª Edição)³⁴

O Sertão corresponde à região com características climáticas principalmente áridas e semiáridas. Abrange o território entre os municípios de Mata Grande e Dois Riachos ao Norte, Delmiro Gouveia a Oeste e Belo Monte ao Sul. Já o Agreste é uma região de transição entre as zonas úmida e seca, compreendendo à superfície que vai de Cacimbinhas e Quebrangulo ao Norte, a Traipu e São Brás ao Sul. O Leste alagoano é a mesorregião com maior área territorial e compreende o Litoral e a Zona da Mata (Norte e Sul) (BARROS *et al.*, 2012, p. 10). Esta mesorregião corresponde à área entre os municípios de Chã Preta e Maragogi ao Norte, e Porto Real do Colégio e Piaçabuçu ao Sul.

³⁴ Imagem original disponível no endereço eletrônico: <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/fa41069e-e0ef-430f-b161-3bf12072fb2e>>

O relevo alagoano apresenta características bem definidas de acordo com sua localização no território. As maiores elevações se concentram no planalto da Borborema, ao Norte do estado, enquanto as menores altitudes estão localizadas a Sudoeste e Sudeste, às margens do Rio São Francisco e na faixa litorânea, respectivamente. As altitudes, em geral, são inferiores a 300m (Figura 16).

Figura 16 – Relevo do estado de Alagoas



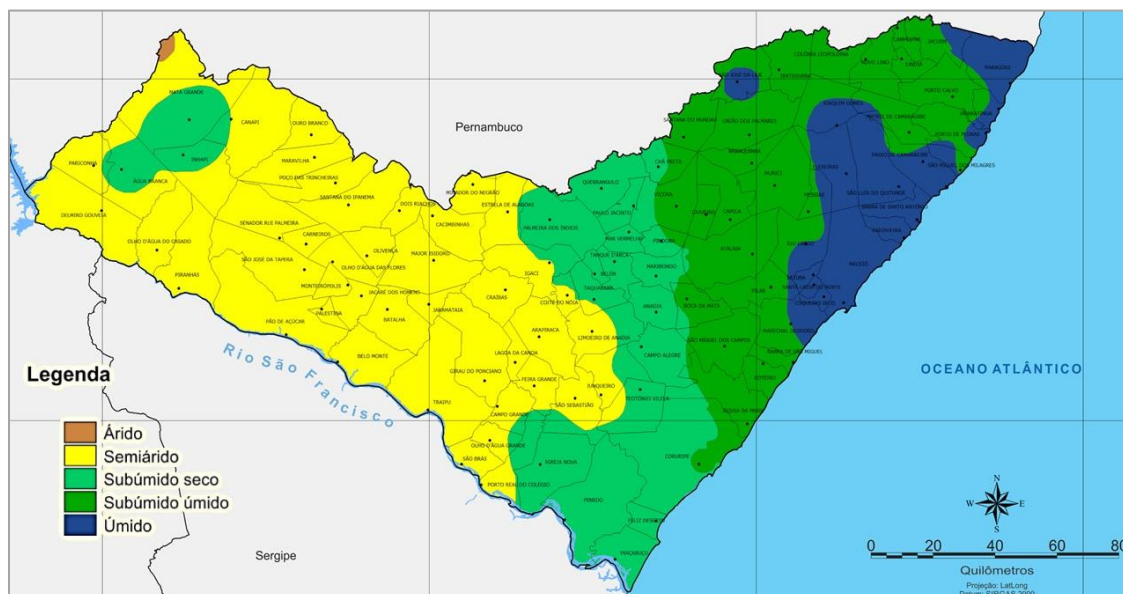
Fonte: Adaptada de Alagoas em Dados e Informações – Hipsometria (2ª Edição)³⁵

No Sertão, predominam extensões aplainadas do planalto da Borborema, interrompidas por áreas mais altas chamadas de serras e de blocos cristalinos. Neste contexto, destaca-se a serra da Lagoa de Santa Cruz, com 844m de altitude, em Mata Grande. No Agreste, o relevo é suave, com as maiores altitudes referentes ao trecho do planalto da Borborema. Entre os acidentes da região, destaca-se a serra dos Guaribas, ponto mais alto do relevo alagoano, com 882m de altitude, em Quebrangulo. Já no Leste alagoano, o relevo inclui a planície Litorânea, os tabuleiros e as planícies aluviais. Na baixada litorânea, encontram-se as praias, as restingas, as dunas, os mangues e as lagoas. Os tabuleiros compreendem uma faixa ao longo do litoral com uma largura média de 30km e uma altitude de 40m a 50m. As planícies aluviais correspondem aos grandes vales dos rios que cortam os tabuleiros (PEREIRA, 1995, p. 29).

Quanto aos tipos de clima presentes em Alagoas, segundo a classificação de Köppen, prevalecem os tipos climáticos tropicais úmido e subúmido no Leste Alagoano, enquanto que, nas outras duas mesorregiões predomina o clima semiárido (Figura 17).

³⁵ Imagem original disponível no endereço eletrônico: <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/7162e04e-52d3-48f8-911b-58911f967d2a>>

Figura 17 – Tipos Climáticos de Alagoas – Classificação climática de Köppen



Fonte: Adaptada de Alagoas em Dados e Informações – Clima (2ª Edição)³⁶

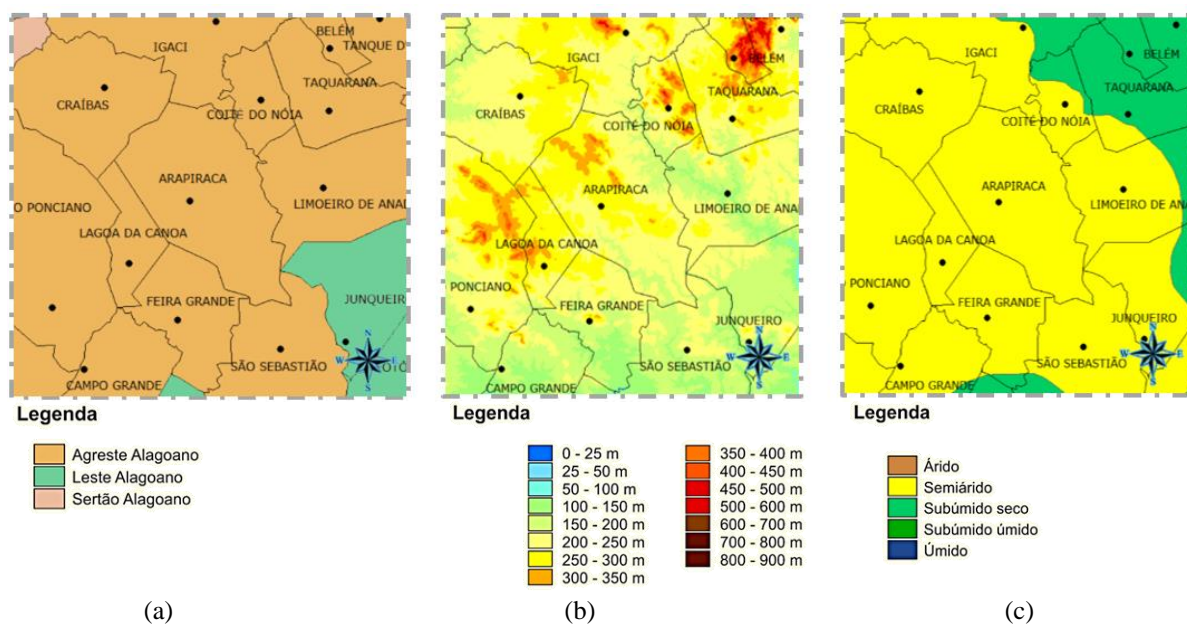
As seis cidades selecionadas para esta pesquisa se situam em porções do estado pertencentes a diferentes mesorregiões, com diferentes altitudes e, conseqüentemente, com diferentes climas. Desta forma, espera-se que as cidades sejam representativas dos diferentes contextos climáticos alagoanos e que as recomendações construtivas bioclimáticas possam atender às diferentes demandas.

4.1. Arapiraca

Arapiraca localiza-se na mesorregião do Agreste Alagoano (Figura 18a), na parte central do estado de Alagoas, entre a latitude 9°75'25'' Sul e longitude 36°60'11'' Oeste. A cidade abrange uma área de 345,65km², possui uma população aproximada de 234.185 habitantes (estimativa para 2017) e densidade demográfica de 600,83hab/km² (IBGE, 2018b). O relevo arapiraquense apresenta poucas elevações, com altitudes principalmente entre 200 e 300 metros (Figura 18b) e o clima predominante é o semiárido (Figura 18c).

³⁶ Imagem original disponível no endereço eletrônico: <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/6376058d-00c9-4cb6-a8d0-149987a434ea>>

Figura 18 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Arapiraca



(a)

(b)

(c)

Fonte: Adaptada de *Alagoas em Dados e Informações*³⁷

A área urbana da cidade se apresenta predominantemente horizontal. A maioria das habitações não possui recuos laterais, ocupando todo ou quase todo o limite dos lotes, o que compromete o aproveitamento da ventilação. Nestes casos, o sombreamento geralmente é feito de maneira precária, se resumindo a beirais ou brises de dimensões reduzidas. Em lotes maiores, é possível ver a utilização de varandas e beirais.

Quanto à ventilação, a existência de janelas nas fachadas das habitações é quase constante, o que nem sempre é possível em paredes laterais. O processo de verticalização em Arapiraca é relativamente recente e lento, sendo composto por edifícios comerciais e hotéis, concentrados no centro da cidade, e residenciais, dispersos em bairros periféricos. A massa d'água mais importante da cidade é o Lago da Perucaba, à oeste da área urbana. Já as áreas verdes mais importantes são o Bosque das Arapiracas e vegetação remanescente das margens do Riacho Seco, além de praças. Algumas dessas características podem ser vistas na Figura 19.

³⁷ Imagens originais disponíveis nos endereços eletrônicos:

(a) <<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/fa41069e-e0ef-430f-b161-3bf12072fb2e>>;
<<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/7162e04e-52d3-48f8-911b-58911f967d2a>>;
<<http://dados.al.gov.br/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/6376058d-00c9-4cb6-a8d0-149987a434ea>>

(b)
(c)

Figura 19 – Características urbanas e habitacionais de Arapiraca

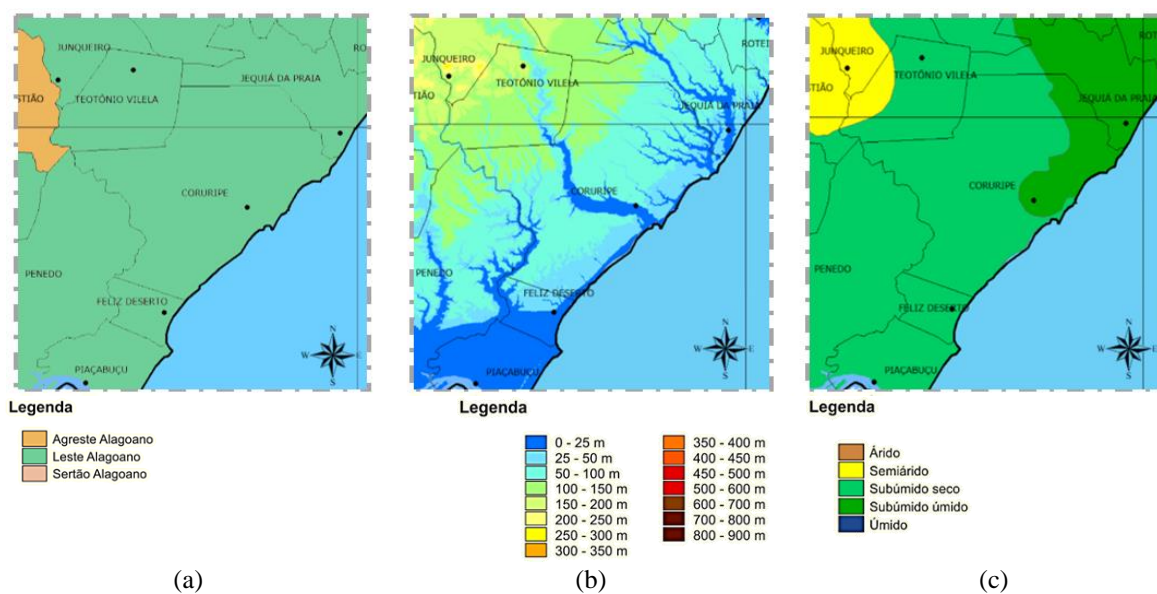


Fonte: Google Earth, adaptada pela autora, 2019

4.2. Coruripe

O território de Coruripe abrange 898,62km². A cidade possui uma população estimada para 2017 em 57.498 pessoas e densidade demográfica de 56,77hab/km² (IBGE, 2018c). Pertencente a mesorregião do Leste alagoano (Figura 20a), está situada a Sudeste do estado.

Figura 20 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Coruripe



(a)

(b)

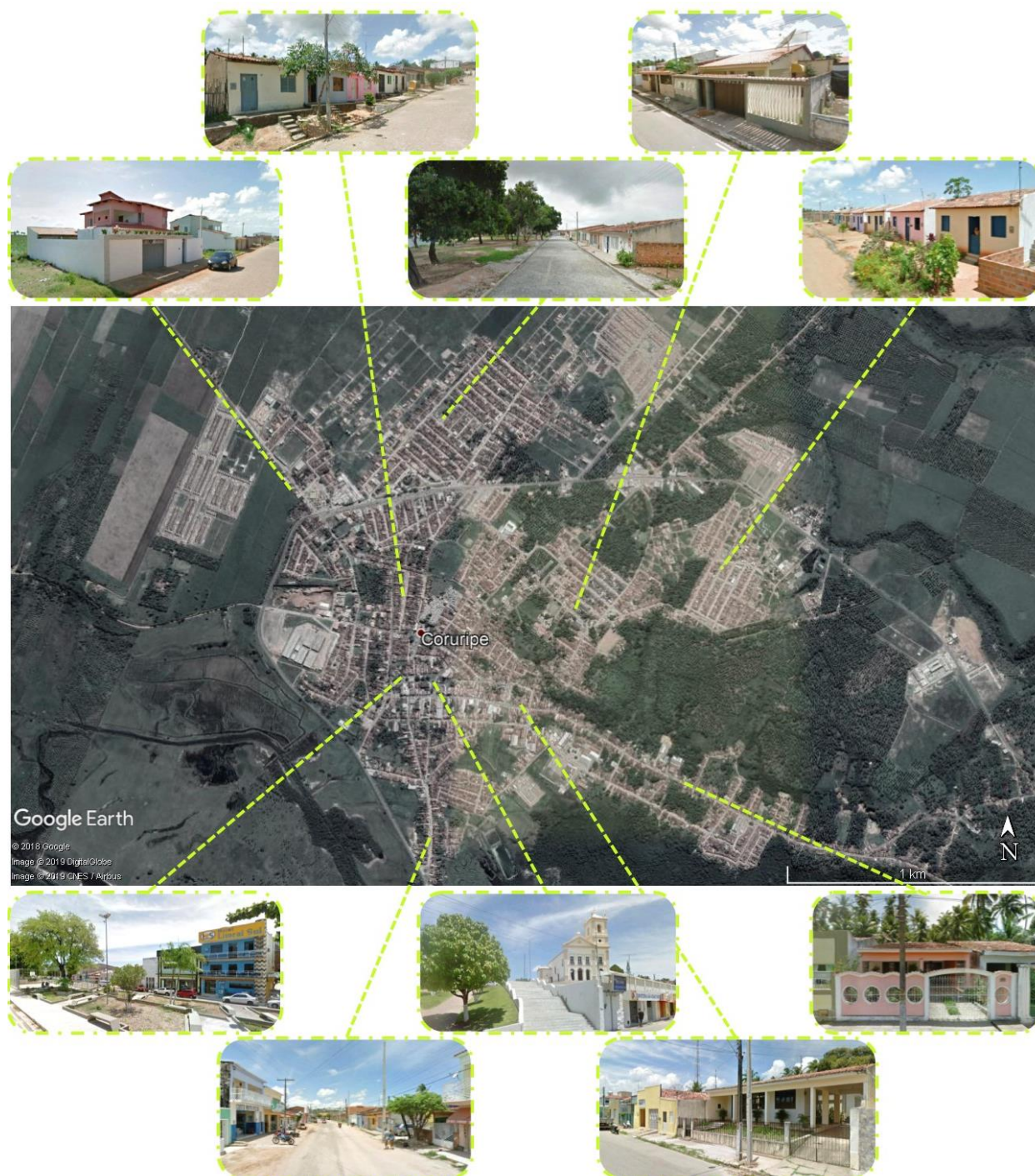
(c)

Fonte: Adaptada de *Alagoas em Dados e Informações*³⁷

Seu relevo faz parte da unidade dos tabuleiros costeiros, que acompanha o litoral de todo o Nordeste, apresentando altitude média de 50 a 100 metros, como visto na Figura 20b. O clima é majoritariamente subúmido seco e parte subúmido úmido (Figura 20c).

A disposição da área urbana de Coruripe é predominantemente horizontal, com presença de alguns sobrados de maneira esparsa. As edificações são construídas majoritariamente sem recuos ou apenas com recuo frontal, prejudicando a entrada de ventilação. Como elementos construtivos de adequação ao clima, observa-se a presença de varandas e beirais, a fim de barrar os raios solares, e janelas e elementos vazados nos muros, para permitir a entrada da ventilação. Porém, estes cuidados muitas vezes se resumem à fachada da edificação. Há diversas áreas verdes no interior da cidade compostas principalmente por terrenos vazios e coqueirais. Também é possível observar arborização em algumas ruas e praças. Exemplos destes aspectos podem ser vistos na Figura 21.

Figura 21 – Características urbanas e habitacionais de Coruripe

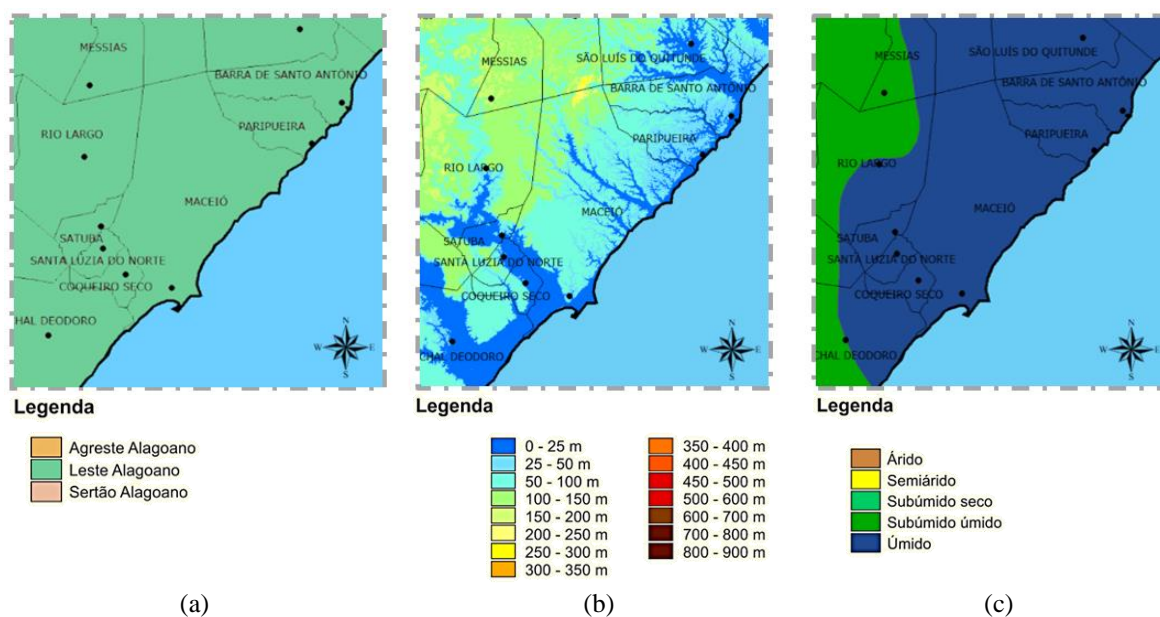


Fonte: Google Earth, adaptada pela autora, 2019

4.3. Maceió

Maceió, capital do estado, também pertence a mesorregião do Leste alagoano (Figura 22a) e localiza-se na faixa litorânea a Leste do estado.

Figura 22 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Maceió

Fonte: Adaptada de *Alagoas em Dados e Informações*³⁷

Possui uma população de 1.029.129 habitantes (estimativa para 2017), densidade demográfica de aproximadamente 1.854,10hab/km² e área de 509,55km² (IBGE, 2018d). O relevo do município é caracterizado por terras baixas, com altitudes de até 100 metros, e pelos tabuleiros costeiros, atingindo por volta dos 200 metros (Figura 22b). Possui clima úmido, como visto na Figura 22c.

Dentre as cidades estudadas, Maceió é a que possui maior diversidade de características na sua área urbana. As edificações multifamiliares são observadas principalmente nos bairros litorâneos, predominantemente verticalizados, mas podem ser encontradas em vários pontos da cidade em menor densidade, seja em edifícios de alto padrão, seja em habitações de interesse social. Os sobrados também estão presentes por toda a cidade, embora o que predomine sejam as habitações unifamiliares térreas. Estas, aliás, se apresentam em maior frequência sem recuos, principalmente no que se refere aos laterais.

Observa-se o uso de sombreamento e aberturas para ventilação insuficientes na maioria das edificações, com foco apenas na fachada, mas, em alguns casos, também se observa o uso de varandas, beirais, marquises e brises. O uso de vegetação é comumente aplicado apenas em vias principais, sendo limitado em algumas vias secundárias pela largura estreita, no caso da vegetação urbana, e pela falta de recuos nos lotes das edificações. Assim, as áreas verdes da cidade são constituídas por praças (que muitas vezes possuem pouca cobertura vegetal), terrenos vazios e os vales, impróprios para construção. Como massas d'água, pode-se citar a lagoa Mundaú e o Riacho Salgadinho. Essas características podem ser observadas na Figura 23.

Figura 23 – Características urbanas e habitacionais de Maceió

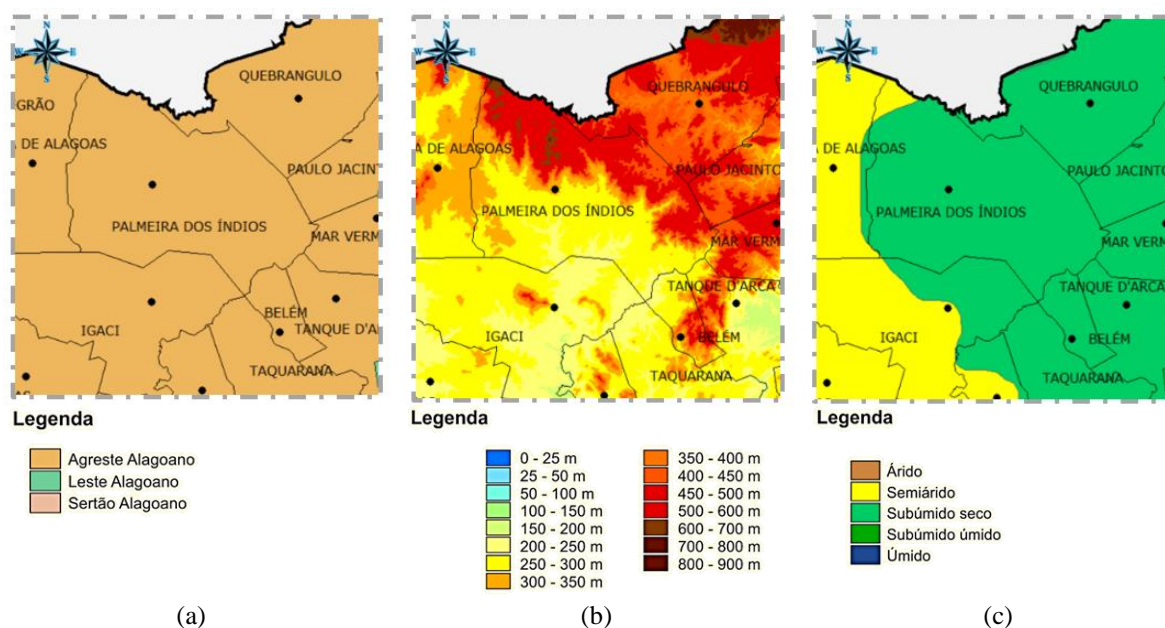


Fonte: Google Earth, adaptada pela autora, 2019

4.4. Palmeira dos Índios

O território de Palmeira dos Índios abrange uma área de 450,96km² e sua população está estimada em 74.208 habitantes (para o ano de 2017), enquanto a densidade demográfica é de 155,44hab/km² (IBGE, 2018e). A cidade está localizada a Norte do estado e pertence a mesorregião do Agreste de Alagoas, como observado na Figura 24a.

Figura 24 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Palmeira dos Índios



(a)

(b)

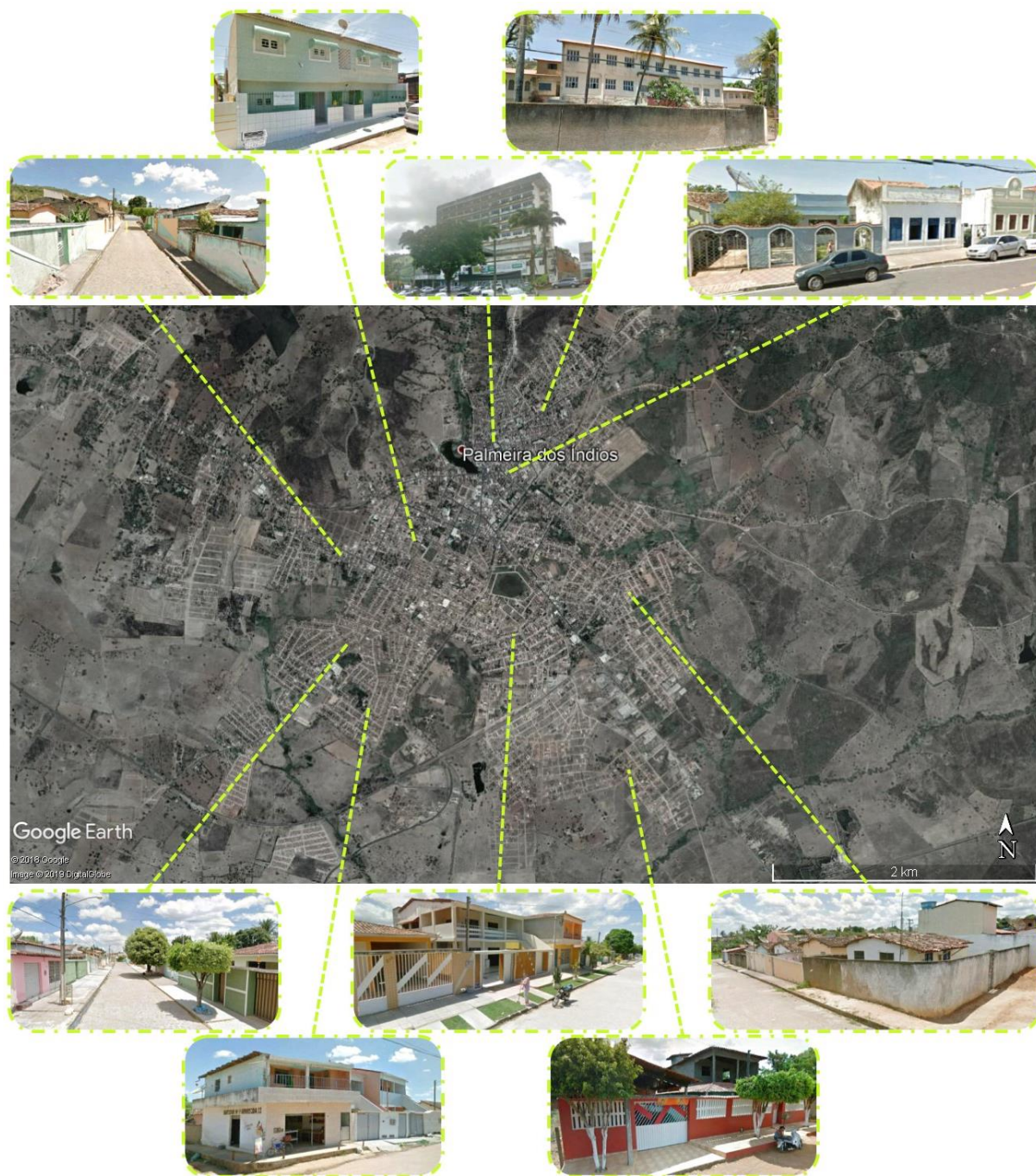
(c)

Fonte: Adaptada de *Alagoas em Dados e Informações*³⁷

O território da cidade apresenta relevo com poucas elevações na sua porção sul, atingindo 300 metros de altitude, e bastantes acidentados nos seus limites ao norte, configurando o início do Planalto da Borborema, com altitudes próximas dos 700 metros (Figura 24b) e o clima é predominantemente subúmido seco, possuindo pequena área classificada como semiárido (Figura 24c).

A área urbana da cidade é formada principalmente por edificações térreas, mas é possível observar vários sobrados por quase toda a cidade. Em algumas casas, é possível ver elementos de proteção contra a insolação como varandas, beirais e toldos, mas também há edificações com platibanda, construídas nos limites dos lotes e com entrada diretamente ligada à rua, remanescentes do período colonial, o que dificulta tanto a incidência dos ventos, quanto a implantação de elementos contra a insolação. A preocupação com o aproveitamento dos ventos geralmente se resume à presença de elementos vasados nos muros e de janelas na fachada. As áreas verdes são compostas principalmente por terrenos vazios espalhados pela cidade e arborização em algumas vias. Há algumas massas d'água em Palmeira dos Índios, destacando-se o Açude Goití, à norte da cidade. A Figura 25 mostra alguns exemplos destas ocorrências na cidade.

Figura 25 – Características urbanas e habitacionais de Palmeira dos Índios

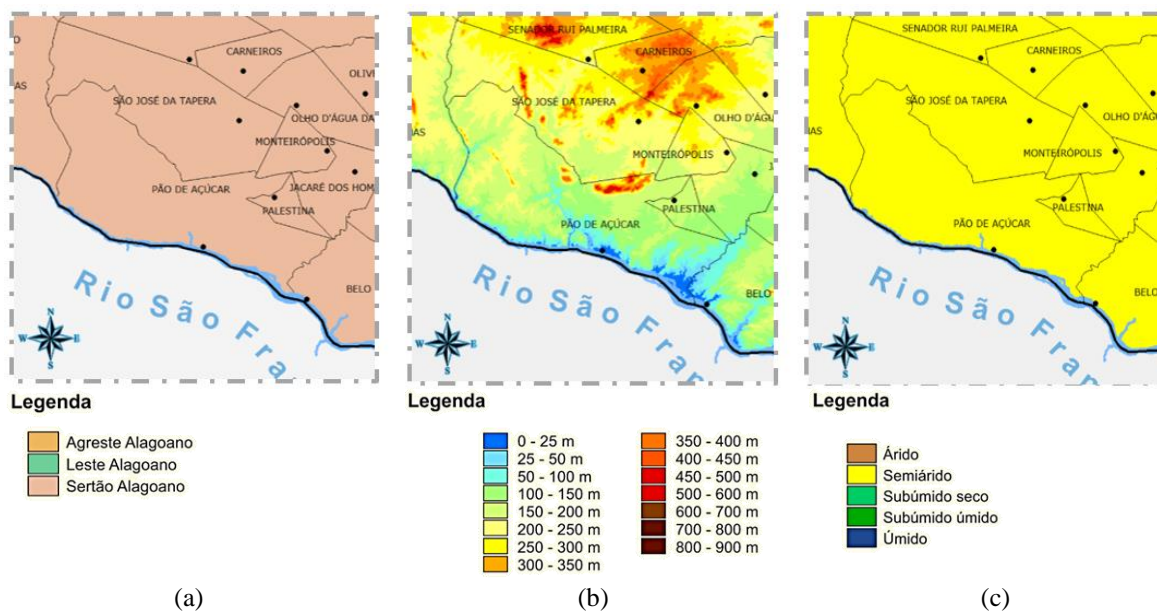


Fonte: Google Earth, adaptada pela autora, 2019

4.5. Pão de Açúcar

Pão de Açúcar está localizada a Oeste do estado e é a única cidade deste estudo pertencente a mesorregião do Sertão alagoano (Figura 26a). O município possui área territorial de 693,69km², uma população de 24.792 habitantes (estimativa para 2017) e uma densidade demográfica de 34,86hab/km² (IBGE, 2018f). O relevo é predominantemente plano com altitudes médias entre 100 e 150 metros (Figura 26b) e o clima é o semiárido (Figura 26c).

Figura 26 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de Pão de Açúcar



Fonte: Adaptada de *Alagoas em Dados e Informações*³⁷

A área urbana da cidade se caracteriza pela sua horizontalidade, interrompida pela presença de alguns sobrados. A maioria das habitações não possui recuos laterais com entrada voltada diretamente para a rua, dificultando a proteção contra o sol e a circulação de ventos na edificação. Nas casas onde há proteção solar, estas são compostas pelas varandas, beirais, brises e marquises. Frequentemente, as aberturas para ventilação estão presentes apenas nas paredes que compõem a fachada. Há arborização em várias vias da cidade, porém de maneira dispersa. A massa d'água mais significativa nas proximidades de Pão de Açúcar é o Rio São Francisco, à sul da cidade. As características observadas na cidade são expostas na Figura 27.

Figura 27 – Características urbanas e habitacionais de Pão de Açúcar

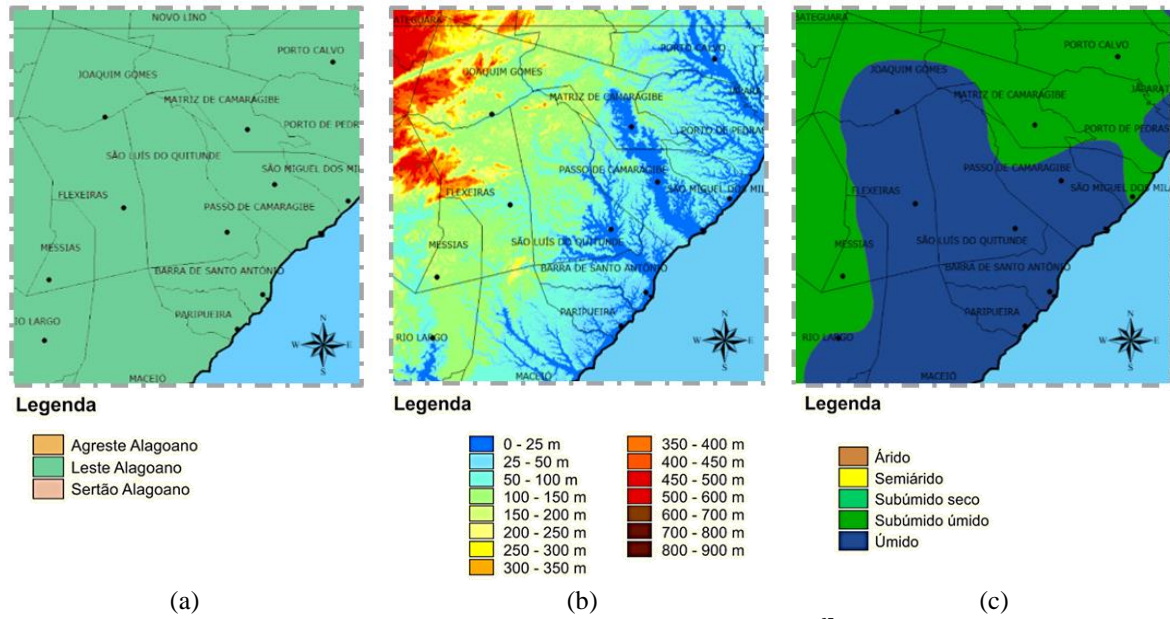


Fonte: Google Earth, adaptada pela autora, 2019

4.6. São Luís do Quitunde

São Luís do Quitunde possui uma população de cerca de 34.961 habitantes (estimativa para 2017), densidade demográfica de 81,61hab/km² e área territorial de 397,37km² (IBGE, 2018g). A cidade está situada a Nordeste do estado e pertence a mesorregião do Leste alagoano, como visto na Figura 28a. De modo geral, a cidade apresenta um relevo de baixa altitude, girando em torno dos 150 metros (Figura 28b). Está implantada às margens do Rio Santo Antônio e seus afluentes. O clima predominante na cidade é o úmido (Figura 28c).

Figura 28 – Localização (a), relevo (b) e clima (c) de São Luís do Quitunde



(a)

(b)

(c)

Fonte: Adaptada de *Alagoas em Dados e Informações*³⁷

A área urbana de São Luís do Quitunde é composta principalmente por habitações térreas e sobrados, em menor número. As habitações muitas vezes ocupam todo ou quase todo o lote de modo que a entrada de ventilação fica limitada às aberturas na parede da fachada, enquanto as proteções contra a insolação ficam limitadas a pequenos beirais, toldos e brises. Em outros casos, é possível ver o uso de varandas e beirais maiores. A vegetação está presente principalmente nas áreas internas das quadras e nas vias principais da cidade. Alguns exemplos das situações encontradas em São Luís do Quitunde podem ser vistos na Figura 29.

Figura 29 – Características urbanas e habitacionais de São Luís do Quitunde



Fonte: Google Earth, adaptada pela autora, 2019

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são expostos os principais resultados encontrados ao longo da pesquisa e as discussões pertinentes a eles. Os resultados são exibidos para cada cidade separadamente e, ao final, é apresentada uma síntese das informações alcançadas.

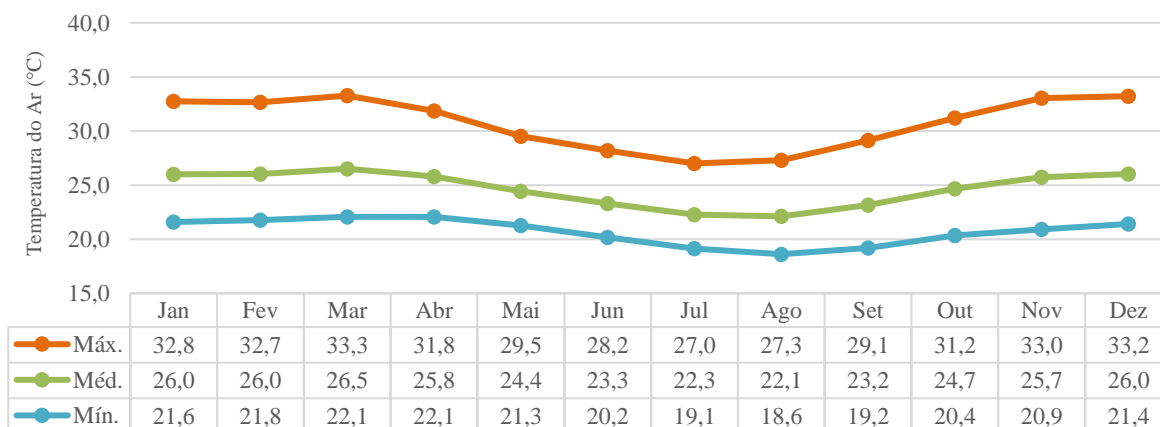
5.1. Arapiraca

A seguir, são apresentados os resultados referentes à cidade de Arapiraca. A primeira parte foi relativa à análise climática da cidade, que se embasou nos dados climáticos obtidos para este estudo e abordou as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação e vento. A segunda parte tratou das recomendações bioclimáticas indicadas pelo método de Givoni (1992) e a terceira parte exibiu as sugestões construtivas segundo Mahoney Nebuloso (1999).

5.1.1. Análise climática da série histórica

A análise dos dados de temperatura do ar de Arapiraca mostrou que os meses de abril a setembro (outono e inverno ou estação das chuvas) apresentaram as menores temperaturas médias enquanto de outubro a março (primavera e verão ou estação seca) as temperaturas do ar foram mais elevadas. O mês mais quente foi dezembro, com máxima média de 33,2°C, e o mais frio foi agosto, com mínima média de 18,6°C, como visto no Gráfico 1. As temperaturas médias do ar registradas ficaram entre 22,1°C e 26,5°C.

Gráfico 1 – Temperatura média mensal do ar de Arapiraca



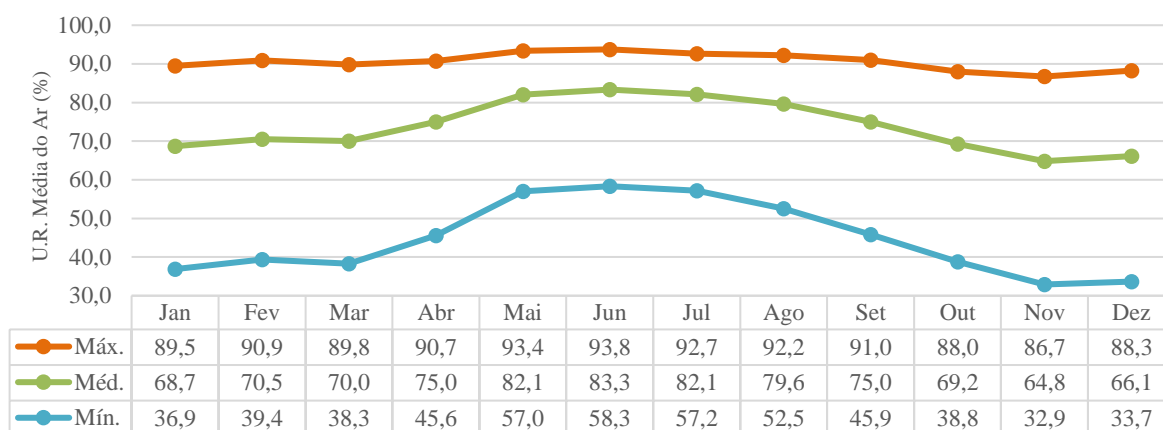
Fonte: Elaborado pela autora

As maiores amplitudes térmicas ocorrem nos meses secos (setembro a março) devido à baixa umidade do ar, com valores médios acima dos 10°C e com maiores valores se

aproximando de 12°C. As menores amplitudes térmicas ocorrem nos meses de chuva (abril a agosto), com valores médios próximo 8°C.

A umidade relativa média da cidade apresentou comportamento inversamente proporcional ao da temperatura do ar ao longo do ano. De outubro a março, foram registrados os menores valores, girando em torno dos 70%. Já de abril a setembro, a umidade relativa do ar esteve mais alta, se aproximando dos 80%, como visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Umidade relativa média mensal do ar de Arapiraca



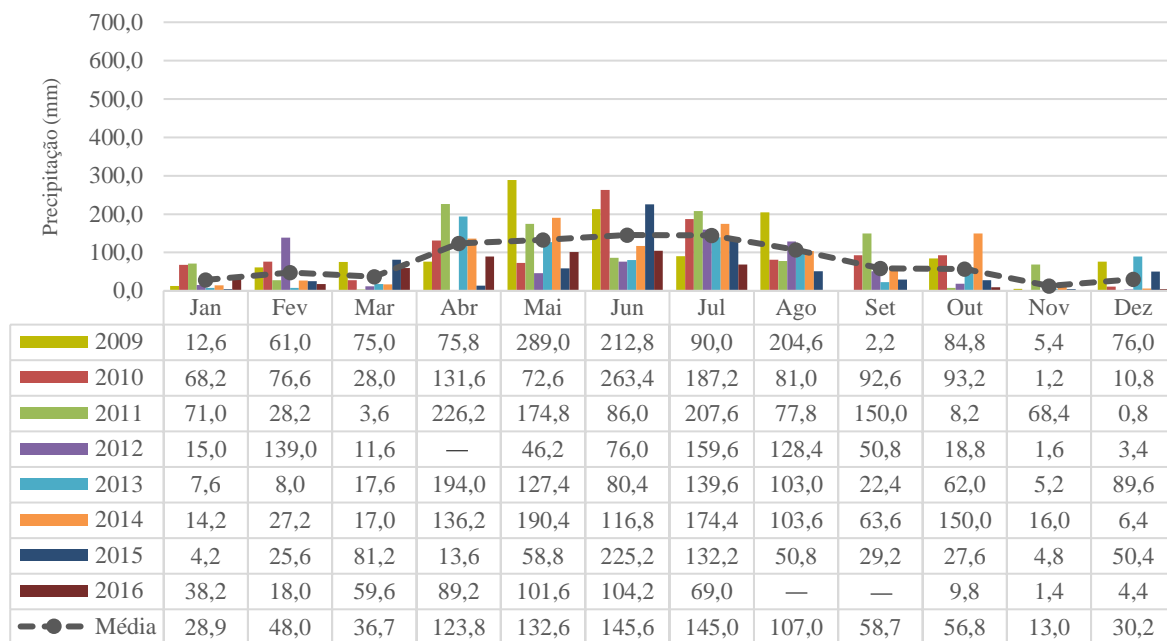
Fonte: Elaborado pela autora

Os valores de umidade relativa máxima não apresentaram grande variação ao longo do ano, girando em torno dos 90%. Já o gráfico da umidade relativa mínima exibiu curvas mais acentuadas ao longo do ano, registrando valores abaixo dos 50% no período seco (setembro a abril). Os meses com maiores umidades relativas médias do ar são os que apresentam menores temperaturas e amplitudes térmicas do ar.

A precipitação em Arapiraca apresentou comportamento irregular ao longo dos anos, contando com períodos chuvosos mais longos, como ocorrido em 2009 que registrou um total anual de 1189,2mm, e mais secos, como em 2015, com total anual de 703,6mm³⁸. O total pluviométrico médio anual encontrado foi de 890,0mm. Porém, a ocorrência de chuvas ao longo dos meses aconteceu de maneira semelhante durante o período estudado, de modo que o período chuvoso se inicia em meados de abril e se encerra entre agosto e setembro, como observado no Gráfico 3. O período de chuvas coincide com os meses de maior umidade relativa do ar e menores temperaturas e amplitudes térmicas do ar.

³⁸ Considerando apenas os anos com todos os valores totais mensais disponíveis.

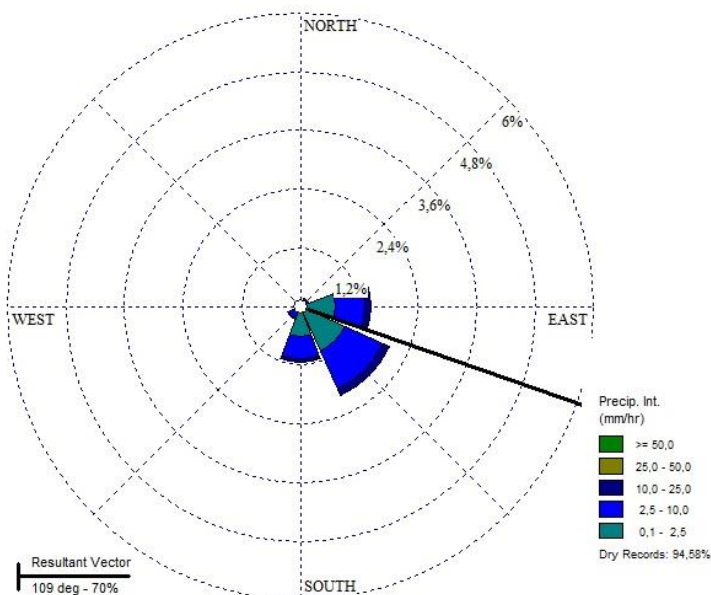
Gráfico 3 – Precipitação média mensal de Arapiraca



Fonte: Elaborado pela autora

A rosa de chuvas observada no Gráfico 4 mostra que as chuvas incidentes em Arapiraca vêm principalmente da direção sudeste, seguida da direção leste e sul respectivamente.

Gráfico 4 – Rosa de chuva com média anual de totais pluviométricos e direção das chuvas em Arapiraca

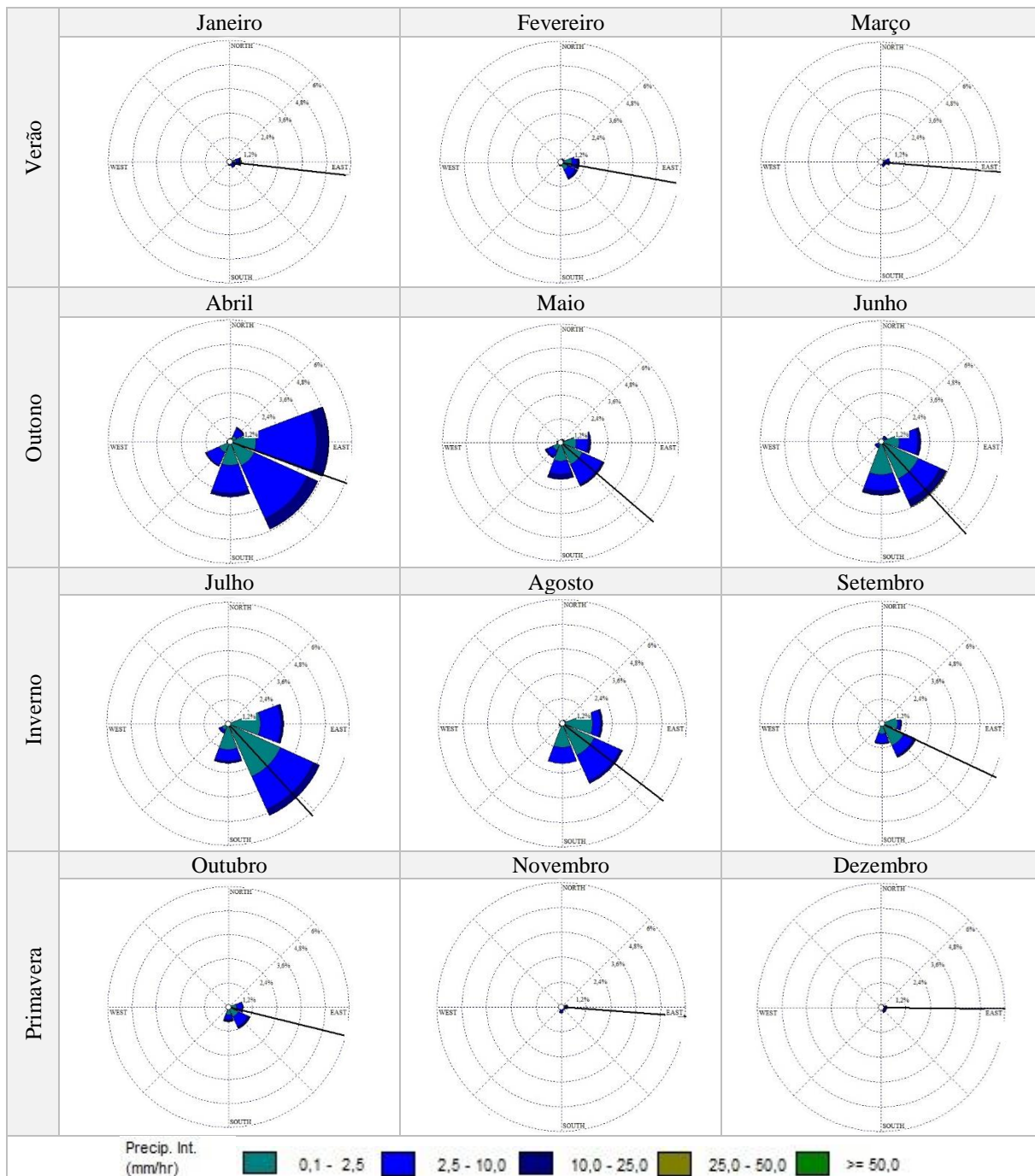


Fonte: Elaborado pela autora

A intensidade das chuvas se deu principalmente entre 0,1 a 2,5mm/h, caracterizada como chuvisco, seguida de 2,5 a 10mm/h, caracterizada como chuvas fracas segundo a escala de Leite, Adacheski e Virgens Filho (2011). A análise das rosas de chuvas mensais (Quadro

14) evidenciou que o período chuvoso tem início em abril e termina por volta de setembro. À exceção de abril, cuja direção predominante é a leste, nos demais meses do período úmido, a principal direção de incidência das chuvas é a sudeste, com a direção secundária alternando entre leste e sul.

Quadro 14 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Arapiraca

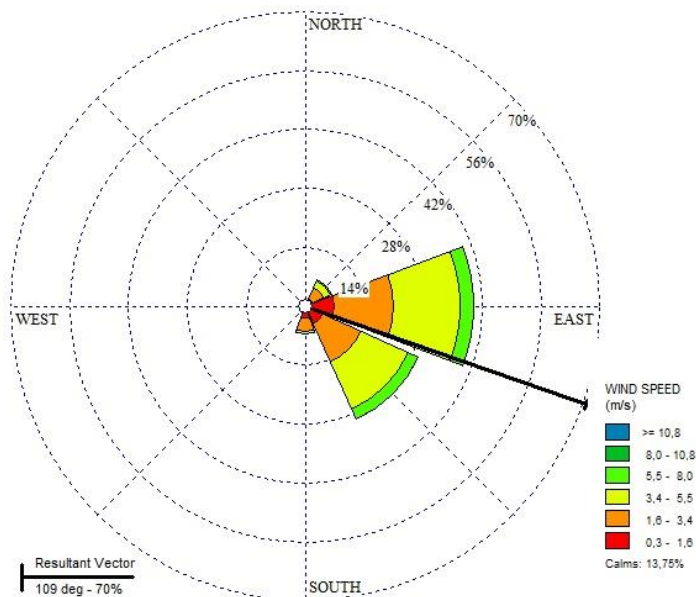


Fonte: Elaborado pela autora

A análise da ventilação da cidade de Arapiraca mostrou que a direção predominante dos ventos é a leste enquanto que a secundária é a sudeste, visto no Gráfico 5. A velocidade do

vento ocorre principalmente entre 1,6 a 3,4m/s (fraco) e 3,4 a 5,5m/s (bonançoso), porém observa-se que em 13,75% do ano a velocidade do vento é insignificante. Além disso, o período em que a ventilação se caracterizou como aragem (0,3 a 1,6m/s) correspondeu a 18,7% das ocorrências, o que configura um período considerável onde a ventilação tem seu potencial de uso comprometido enquanto estratégia bioclimática.

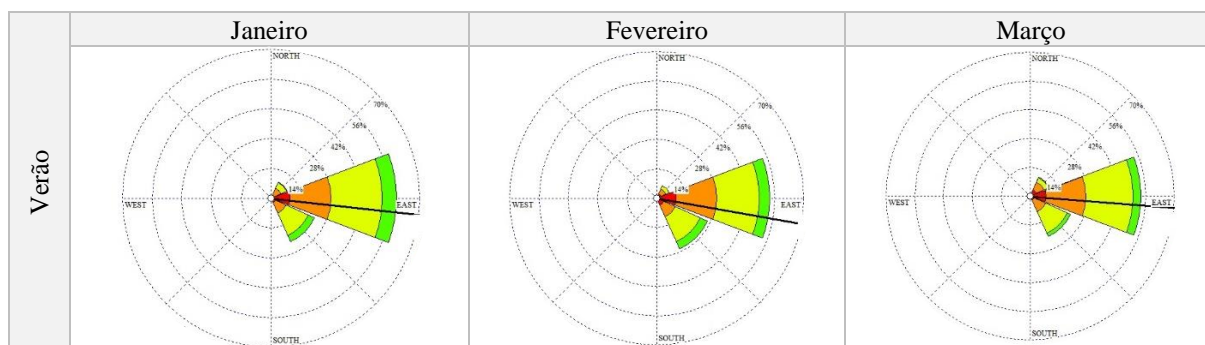
Gráfico 5 – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Arapiraca



Fonte: Elaborado pela autora

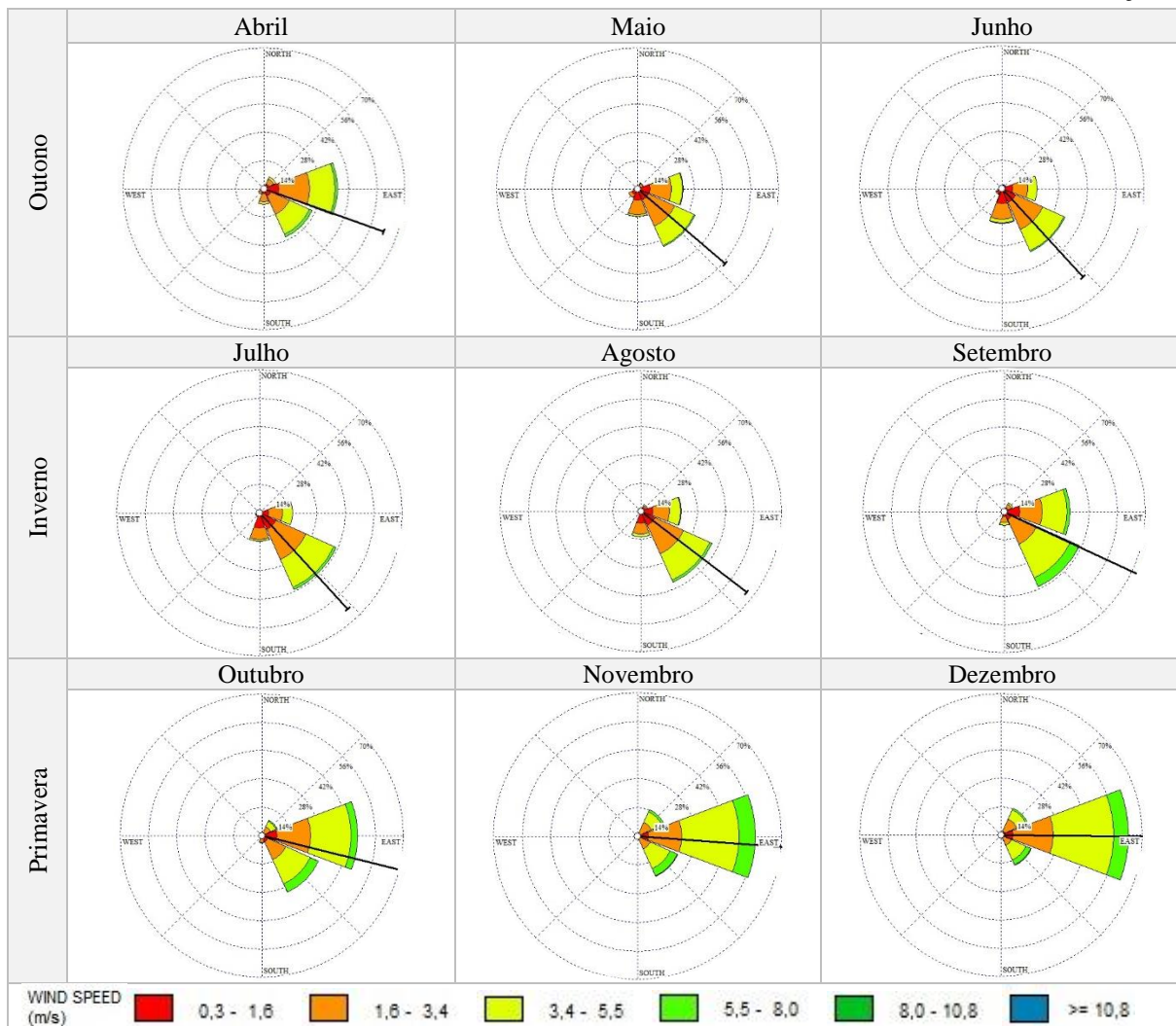
A rosas dos ventos mensais revelaram que, apesar da direção leste ser a predominante ao longo do ano, há uma alteração no comportamento da ventilação ao longo dos meses. Os ventos vindos da direção leste são mais frequentes nos meses do período seco (outubro a abril), como observado no Quadro 15. Já nos meses do período úmido (maio a setembro), a direção predominante dos ventos é a sudeste e as velocidades, em média, são menores.

Quadro 15 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em Arapiraca



(continua)

(continuação)

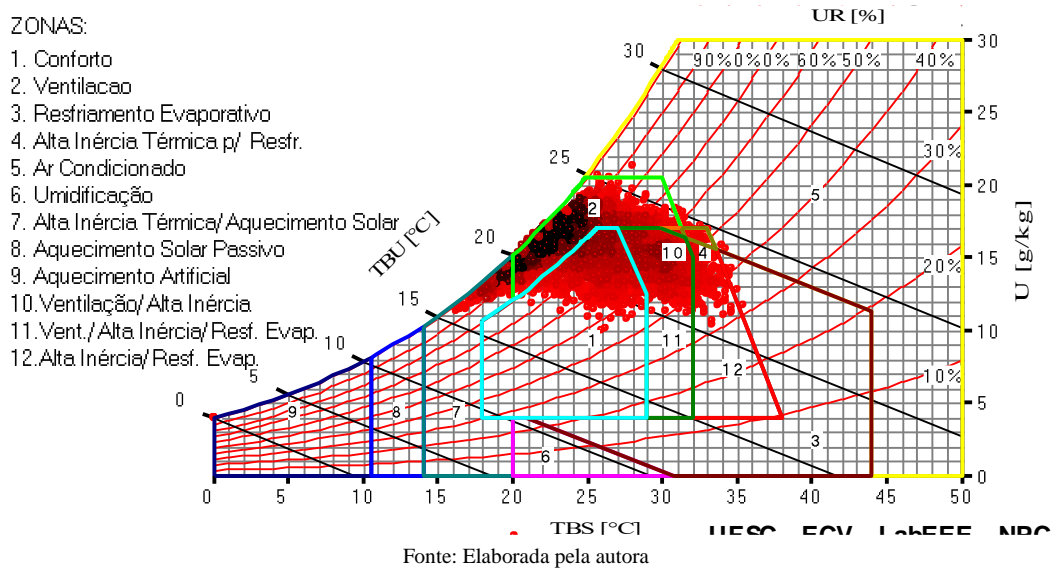


Fonte: Elaborado pela autora

5.1.2. Carta de Givoni

As estratégias bioclimáticas indicadas para Arapiraca segundo a Carta de Givoni foram obtidas por meio de relatório gerado pelo programa *Analysis BIO* a partir dos dados horários do Ano Climático de Referência da cidade, neste caso, 2010. A Carta gerada pelo programa pode ser vista na Figura 30.

Figura 30 – Carta Bioclimática de Arapiraca com dados do ano de 2010 (TRY)



O relatório gerado pelo programa mostrou que a cidade se encontra em situação de conforto térmico em apenas 17,7% do ano. Nos outros 82,3% do período, ocorre desconforto gerado por frio (6,22%) e, principalmente, por calor (76,1%). As principais estratégias sugeridas pela Carta podem ser vistas na Tabela 8.

Tabela 8 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Arapiraca-AL

Estratégia		Período	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Ano
		Conforto	21,6%	12,2%	7,02%	30,2%	17,7%
Desconforto	Calor	<i>Sombreamento</i>	96,3%	100,0%	99,6%	79,3%	93,8%
		<i>Ventilação</i>	71,5%	81,1%	91,1%	49,1%	73,2%
		<i>Alta Inércia p/ Resfriamento</i>	24,5%	29,4%	14,8%	0,2%	17,1%
		<i>Resfriamento. Evaporativo</i>	24,4%	28,6%	13,9%	0,2%	16,7%
		<i>Ar Condicionado</i>	0,0%	0,3%	0,4%	0,0%	0,2%
	Frio	<i>Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar</i>	3,6%	0,0%	0,3%	20,7%	6,2%

Fonte: Elaborada pela autora

Como observado na Tabela 8, as medidas mais necessárias para obtenção de conforto térmico em Arapiraca são o sombreamento e a ventilação, bastante indicadas ao longo do ano inteiro. Durante as estações de primavera e de verão (período seco), nas quais o percentual de conforto é de 21,6% e 12,2%, respectivamente, a alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo apresentam graus de recomendação consideráveis (por volta de 25%). Isso ocorre devido às baixas taxas de umidade relativa do ar que contribuem para a diferença térmica diária ser alta.

Já durante o outono e o inverno (período das chuvas), o percentual de conforto é de 7,02% e de 30,2%, respectivamente. O outono, além de se mostrar a estação mais desconfortável, também foi a que apresentou maior percentual de necessidade de resfriamento artificial, embora a recomendação seja de menos de 0,4%. Já o inverno, estação mais confortável, demanda a combinação de alta inércia térmica para aquecimento com aquecimento solar a fim de minimizar o desconforto causado pelo frio durante 20% da duração da estação.

5.1.3. Método de Mahoney Nebuloso

A determinação das estratégias bioclimáticas para Arapiraca pelo Método de Mahoney Nebuloso se iniciou pela análise dos dados climáticos presente na Tabela 9. Nela, é possível ver que todas as temperaturas médias mensais possuem alto grau de pertinência ao conjunto nebuloso “ TM_{alta} ”. À exceção de julho e agosto, os valores de TM mensal foram completamente pertencentes à característica “alta”. Quanto à amplitude térmica mensal, percebe-se que as pertinências foram parecidas ao longo de todo o ano para os conjuntos nebulosos de amplitude, porém, entre abril e agosto, o grau de pertencimento é ligeiramente maior para o grupo nebuloso “ $AT_{pequena}$ ”, enquanto nos demais meses o grau de pertinência é maior para o grupo “ AT_{grande} ”.

Tabela 9 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) - Arapiraca

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (°C)	26,00	26,00	26,50	25,80	24,40	23,30	22,30	22,10	23,20	24,70	25,70	26,00
$\mu_{TM_{Alta}}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00
$\mu_{TMMédia}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{TMBaixa}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AT (°C)	11,14	10,87	11,20	9,79	8,27	8,01	7,88	8,68	9,94	10,86	12,13	11,80
$\mu_{AT_{Grande}}$	0,53	0,52	0,53	0,49	0,41	0,40	0,39	0,44	0,50	0,52	0,55	0,55
$\mu_{AT_{Pequena}}$	0,47	0,48	0,47	0,52	0,59	0,60	0,61	0,57	0,50	0,48	0,45	0,45
URM (%)	68,70	70,50	70,00	75,00	82,10	83,30	82,10	79,60	75,00	69,20	64,80	66,10
$\mu_{URM_{Seco}}$	0,51	0,48	0,50	0,30	0,09	0,08	0,09	0,12	0,30	0,51	0,55	0,54
$\mu_{URM_{Umido}}$	0,49	0,52	0,50	0,70	0,91	0,92	0,91	0,88	0,70	0,49	0,45	0,46
PL Média (mm)	28,90	48,00	36,70	123,80	132,60	145,60	145,00	107,00	58,70	56,80	13,00	30,20
$\mu_{PL_{Alta}}$	0,07	0,12	0,09	0,31	0,33	0,36	0,36	0,27	0,15	0,14	0,03	0,08

Fonte: Elaborada pela autora

Os valores de umidade relativa do ar tiveram graus de pertinência bem definidos para o grupo “ $URM_{úmido}$ ” de abril a setembro, como visto na Tabela 9. Nos demais meses, o pertencimento dos dados mensais esteve perto dos 50% para ambos os grupos, com leve tendência para o grupo “ URM_{seco} ”, indicando que não há um período categoricamente seco na

cidade. Ao mesmo tempo, quando se analisa os dados de pluviosidade, nota-se que em nenhum mês a precipitação pertenceu ao grupo “PL_{alta}”.

A análise do rigor térmico diurno de Arapiraca mostrou que os graus de pertinência foram maiores para o grupo “RT_{dia-quente}”, mesmo para os meses do período úmido, registrando pertinências acima de 70%, podendo ser vista na Tabela 10. Já no período noturno, observou-se que o grupo nebuloso com os maiores graus de pertinência foi o “RT_{noite-confortável}” para quase todo o ano. Apenas nos meses de agosto e setembro as pertinências foram levemente maiores para o grupo “RT_{noite-frio}”, indicando que algumas noites podem ser desconfortáveis pelo frio.

Tabela 10 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) - Arapiraca

RT _{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\mu_{RT_{dia} - Frio}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RT_{dia} - Confortável}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,28	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RT_{dia} - Quente}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,72	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00
RT _{noite}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\mu_{RT_{noite} - Frio}$	0,17	0,13	0,08	0,06	0,17	0,38	0,36	0,41	0,59	0,39	0,30	0,21
$\mu_{RT_{noite} - Confortável}$	0,83	0,87	0,92	0,94	0,83	0,62	0,64	0,59	0,41	0,61	0,70	0,79
$\mu_{RT_{noite} - Quente}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Na Tabela 11, é possível ver o grau de recomendação dos indicadores climáticos de umidade e de aridez para cada mês do ano. O indicador mais frequente em Arapiraca é o de aridez A2, que se caracteriza pela possibilidade de local para dormir ao ar livre, enquanto o segundo mais frequente é o de umidade H1, definido pela necessidade de movimento do ar. O indicador A2 apresentou valores elevados durante todo o ano, mas com frequências acima de 90% nos meses de outubro a abril (período mais seco), enquanto o indicador H1 se mostrou mais recomendado (em grau semelhante ao A2) de maio a setembro (período úmido).

Tabela 11 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) - Arapiraca

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}	0,49	0,52	0,50	0,70	0,91	0,88	0,72	0,76	0,70	0,49	0,45	0,46	7,58
μ_{H2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,28	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63
μ_{H3}	0,07	0,12	0,09	0,31	0,33	0,36	0,36	0,27	0,15	0,14	0,03	0,08	2,32
μ_{A1}	0,51	0,48	0,50	0,30	0,09	0,08	0,09	0,12	0,30	0,51	0,55	0,54	4,07
μ_{A2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,72	0,76	1,00	1,00	1,00	1,00	11,37
μ_{A3}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Com base na frequência anual de cada indicador climático, foi possível encontrar as recomendações projetuais indicadas para Arapiraca. As modelagens das estratégias para a cidade podem ser vistas no Apêndice D e as recomendações (R) encontradas estão destacadas no Quadro 16.

Quadro 16 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) - Arapiraca

Pertinência	Recomendação	
Traçado		
1,00	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
Espaçamento		
0,00	R3	Espaço aberto para penetração de brisa
1,00	R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0,00	R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
Movimento do ar		
1,00	R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	R8	Não é necessário o movimento do ar
Aberturas		
0,00	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
1,00	R11	Aberturas medianas, 20-40%
Paredes		
0,00	R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
1,00	R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
Coberturas		
1,00	R14	Coberturas isoladas leves
0,00	R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
Espaço para dormir ao ar livre		
1,00	R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
Proteção contra chuvas pesadas		
0,32	R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Elaborada pela autora

5.1.4. Discussão das estratégias bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas recomendadas pelas duas metodologias utilizadas nesta pesquisa, bem como as recomendadas para a Zona 8 do ZBB a qual Arapiraca pertence, foram confrontadas no Quadro 17.

Quadro 17 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Arapiraca

Métodos	NBR 15220-3 (ZB-8)	Givoni	MMN
Diretrizes	Sombrear aberturas	Sombreamento durante todo o ano	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
	Ventilação cruzada permanente	Ventilação durante todo o ano, principalmente na primavera, verão e inverno	Espaço aberto para penetração de brisa, porém com proteção contra o vento frio/quente Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
	Aberturas para ventilação grandes (AZBB>40%)	-	Aberturas medianas (AMMN=20-40%)
	Parede leve refletora	Alta inércia para resfriamento nos dias mais quentes da primavera e verão	Paredes pesadas; interiores e exteriores
	Cobertura leve refletora		Coberturas isoladas leves
	-	Resfriamento evaporativo em dias mais quentes da primavera e verão	-
	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	Ar condicionado em dias mais quentes do verão e outono	-
	-	-	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	-	-	Não há necessidade de proteção contra chuva intensa
	-	Alta inércia/Aquec. solar em noites mais frias do inverno e primavera	-

Fonte: Elaborado pela autora

O sombreamento aparece como estratégia essencial para a minimização dos ganhos térmicos ao longo de todo o ano, uma vez que se recomenda o uso de sombreamento sempre que a temperatura do ar ultrapassar os 20°C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Por isso, é recomendável o uso de elementos de proteção solar permanentes, contanto que pensados de maneira integrada com a iluminação natural e com a penetração dos ventos. O MMN recomenda que as edificações sejam orientadas sobre o eixo N/S, mas também é altamente aconselhável que cada projeto arquitetônico conte com uma avaliação da carta solar local a fim de se apontar as melhores alternativas para a prevenção da insolação.

Após o sombreamento, a ventilação cruzada é a estratégia mais indicada ao longo de todo ano. O espaçamento entre as edificações deve permitir a penetração dos ventos e o uso de plantas livres maximiza os fluxos de vento e a renovação do ar dentro da edificação. Porém, há momentos em que a temperatura do ar excede os 32°C, o que torna o movimento do ar indesejável por causar ganhos térmicos por convecção (GIVONI, 1997). Desta forma, o uso de esquadrias que permitam o controle da incidência dos ventos é mais adequado à realidade local. Além disso, a implantação das esquadrias deve considerar as direções leste e sudeste como fundamentais para promoção da ventilação cruzada. Deve-se atentar aos momentos de calmaria em especial nos meses de outono, nos quais pode ser necessário o uso de ventilação mecânica.

As metodologias não convergiram quanto ao tamanho de aberturas a ser adotado. Ao contrário do que recomenda o ZBB, as aberturas devem ser medianas, ou seja, a área de abertura deve ser entre 20 a 40% da área da parede.

As metodologias também divergiram quanto à densidade da envoltória da edificação. Embora o MMN recomende paredes pesadas, tanto internas quanto externas, o método de Givoni detectou a necessidade de alta inércia térmica apenas em pequenos períodos dos meses mais quentes. Segundo Givoni (1997), quando a temperatura diurna for superior aos 36°C e a noturna for acima de 20°C, a estrutura da edificação não seria suficientemente resfriada durante a noite. As temperaturas máximas médias da cidade não atingiram os 36°C, mas as mínimas médias nos meses mais quentes em Arapiraca estiveram acima de 20°C (Gráfico 1), de modo que a estratégia não deve ser pensada com cuidado. Por outro lado, a cobertura deve ser isolada, refletora e de material leve de modo a evitar os ganhos de calor pelo teto.

Embora apenas o método de Givoni cite o resfriamento evaporativo como opção de estratégia a ser adotada, o MMN categoriza alguns meses do ano como secos (Tabela 9), indicando a necessidade de incremento de umidade no ar. Uma vez que a estratégia é recomendada em períodos específicos do ano, é aconselhável a aplicação da mesma de maneira intermitente, como por meio de vegetação ou resfriamento evaporativo direto nos momentos mais críticos.

A necessidade de dormir ao ar livre é sugerida devido às noites serem consideradas confortáveis ao longo de praticamente todo ano (Tabela 10). Esta recomendação pode ser traduzida como necessidade de ventilação noturna, uma vez que dormir ao ar livre pode não ser viável por questão de segurança. A ventilação noturna permite que ocorra a gradativa troca de ar quente pelo ar fresco da noite.

Em dias de calor extremo, o condicionamento térmico passivo pode não ser suficiente para atender as condições de conforto necessárias. Neste caso, o uso de climatização artificial por meio de ar condicionado é aceitável. A fim de otimizar o seu uso é necessário atentar para a eficiência energética do aparelho e para as vedações do ambiente climatizado.

Também em dias extremos, pode ocorrer o desconforto por frio na cidade. A estratégia recomendada pelo método de Givoni foi o uso de vedações com alta inércia térmica combinada ao aquecimento solar em noites mais frias no inverno e na primavera. Uma vez que o desconforto gerado pelo frio ocorrerá em momentos esporádicos, a aplicação de mecanismos permanentes de aquecimento passivo não é conveniente. O mais aconselhável seria o uso de

soluções seletivas, como o controle dos fluxos de ventos frios dentro da edificação por meio das esquadrias e o uso de materiais de alta inércia térmica enquanto mobiliário (cortinas, tapetes etc.).

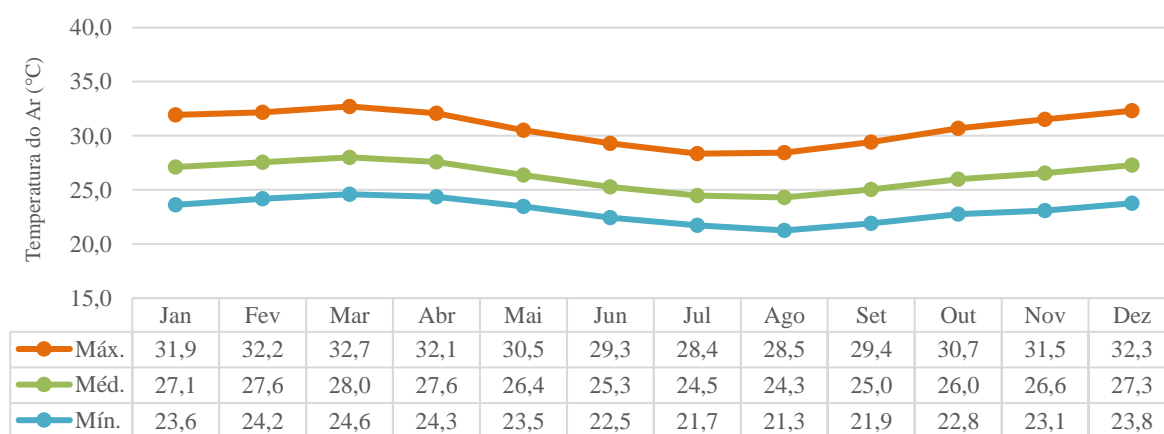
5.2. Coruripe

Os resultados referentes à cidade de Coruripe também foram divididos em três partes. A primeira se referiu ao comentário sobre o clima da cidade e se baseou nos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação e ventilação coletados neste estudo. A segunda parte trouxe as estratégias bioclimáticas segundo o método de Givoni (1992), enquanto a terceira parte traz as estratégias recomendadas pelo Método de Mahoney Nebuloso (1999).

5.2.1. Análise climática da série histórica

Em Coruripe, os valores de temperatura média do ar variaram entre 24,3°C e 28°C, sendo a menor mínima média registrada no mês de agosto (21,3°C) e a maior máxima média pertencente a março (32,7°C). Os meses de outubro a maio (período seco) tiveram máximas médias acima dos 30°C, enquanto que os meses de junho a setembro (período de chuvas) apresentaram valores ligeiramente inferiores, como visto no Gráfico 6. As curvas formadas pelos gráficos de temperatura máxima, mínima e média são pouco acentuadas, indicando que a variável se altera pouco ao longo do ano, provavelmente devido à sua proximidade com o mar.

Gráfico 6 – Temperatura média mensal do ar de Coruripe



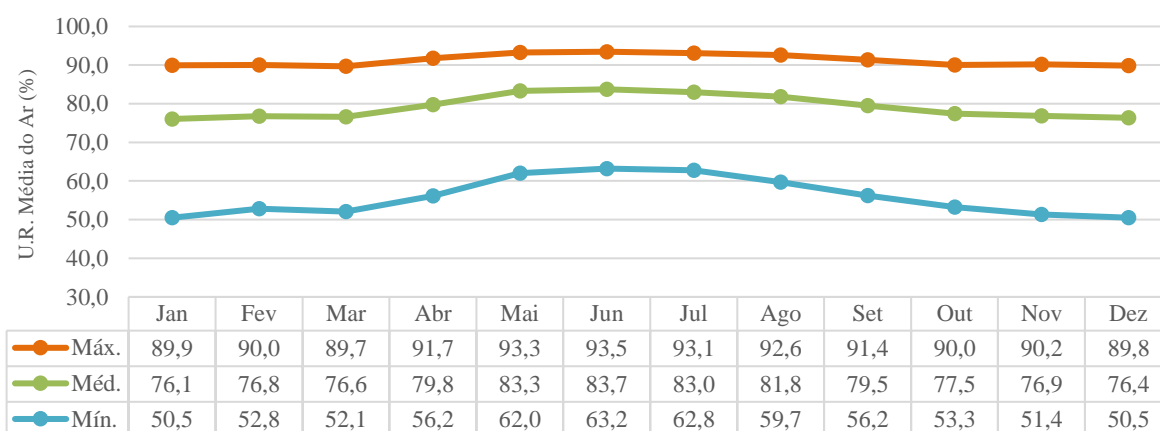
Fonte: Elaborado pela autora

A análise das amplitudes térmicas de Coruripe revelou que as variações de temperatura mensais são menores de maio a agosto, coincidindo com o período de temperaturas mais amenas, enquanto, de setembro a abril, as amplitudes são maiores. De modo geral, o mês com

menor amplitude média foi julho (6,6°C) e o com maior variação foi dezembro (8,5°C). Os valores médios de amplitude são sensivelmente menores que os de Arapiraca.

Nos meses mais úmidos (maio a agosto), os valores médios de umidade relativa do ar passam dos 80%, enquanto nos mais secos (setembro a abril) giram em torno dos 76%, como visto no Gráfico 7. As umidades relativas máximas foram próximas dos 90% ao longo de todo o ano, ao passo que as umidades relativas mínimas ficaram próximas dos 60% nos meses mais úmidos e próximas dos 50% nos mais secos.

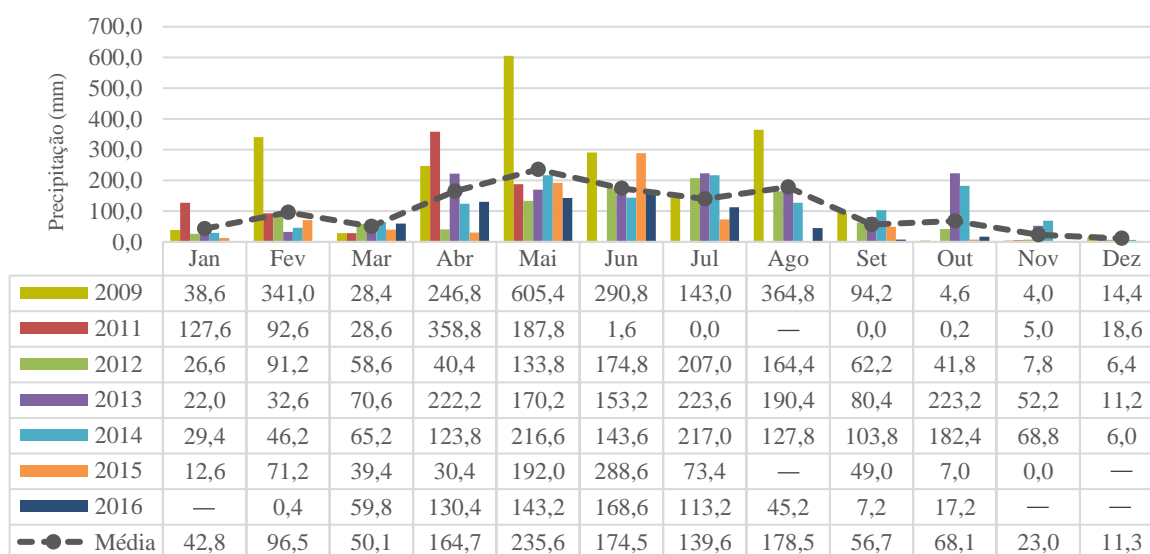
Gráfico 7 – Umidade relativa média mensal do ar de Coruripe



Fonte: Elaborado pela autora

A análise mensal da precipitação mostrou a estação chuvosa se iniciando por volta de abril e terminando em agosto, como visto no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Precipitação média mensal de Coruripe

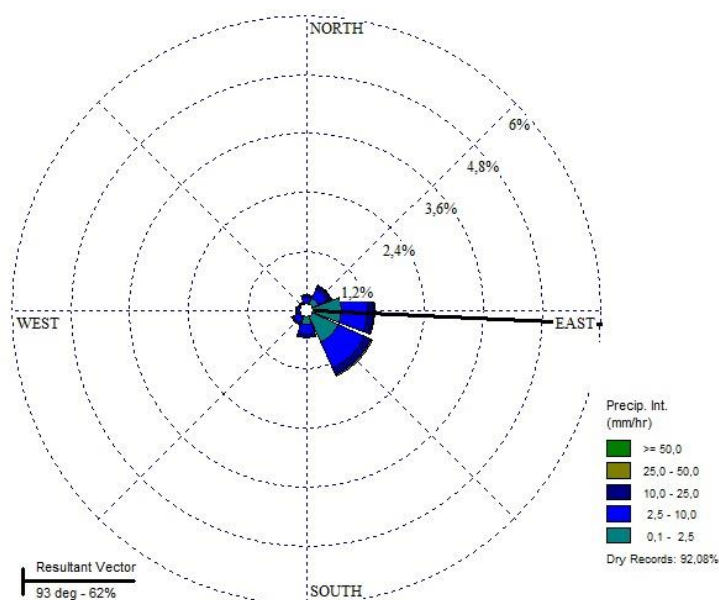


Fonte: Elaborado pela autora

A precipitação em Coruripe também se caracterizou por apresentar anos com totais pluviométricos bastante distintos, como no caso de 2009 (2176mm) e 2015 (1015mm)³⁹. O total pluviométrico médio anual encontrado foi de 1177,6mm.

O Gráfico 9 mostra a rosa de chuvas para a cidade de Coruripe. Nela, é possível observar que as chuvas que acontecem na cidade vêm principalmente da direção sudeste seguida pela leste. As chuvas incidentes se deram principalmente com a intensidade de 0,1 a 2,5mm/h e 2,5 a 10mm/h, caracterizadas como chuviscos e chuvas fracas (LEITE; ADACHESKI; VIRGENS FILHO, 2011), respectivamente.

Gráfico 9 – Rosa de chuva com média anual de totais pluviométricos e direção das chuvas em Coruripe

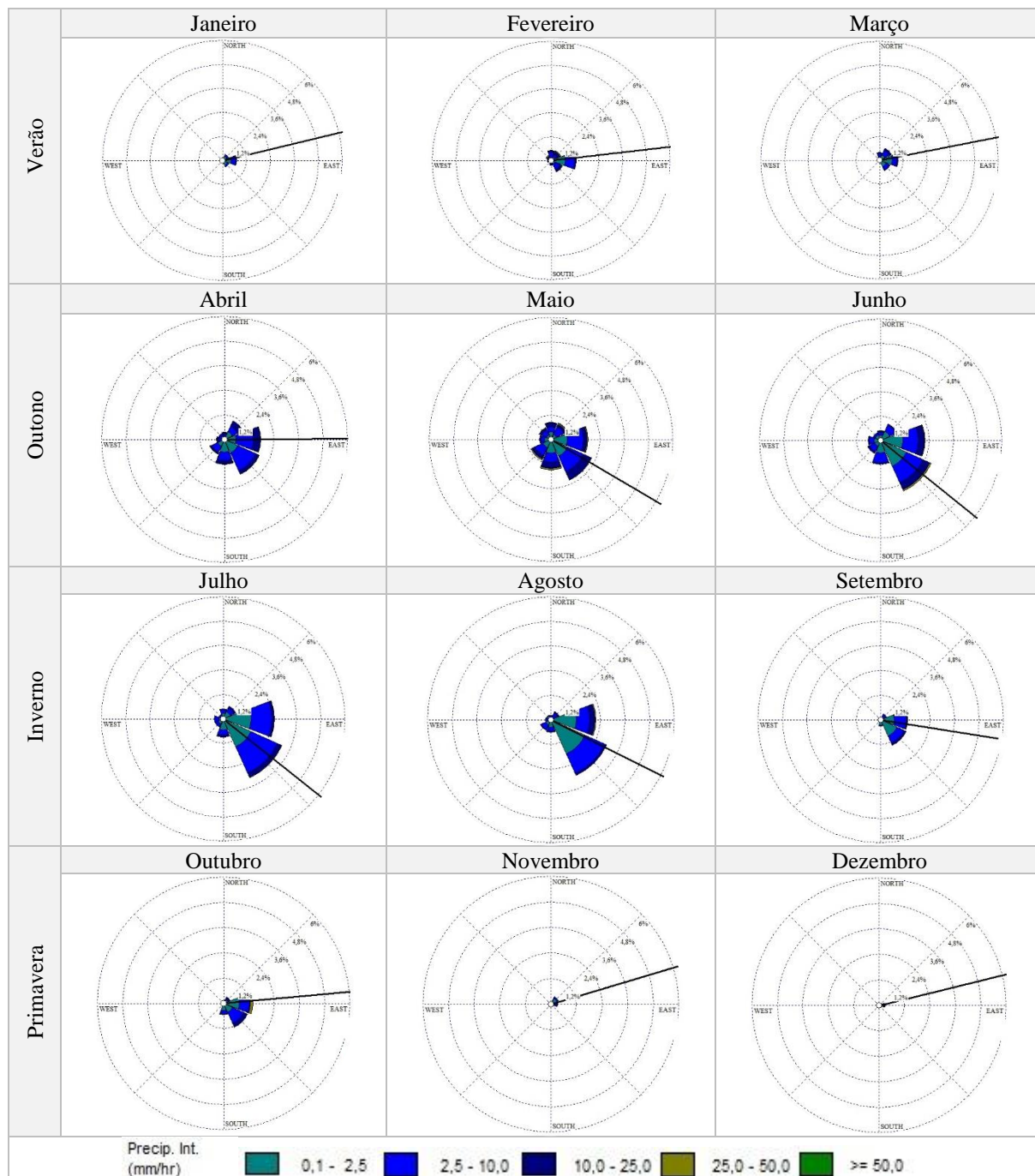


Fonte: Elaborado pela autora

As rosas de chuvas mensais (Quadro 18) confirmaram que o período mais chuvoso começa em abril e vai até agosto e que as direções de origem das mesmas são a sudeste e leste, respectivamente. Porém, nos meses com chuvas mais escassas, a direção predominante passa a ser a leste.

³⁹ Considerando apenas os anos com todos os valores totais mensais disponíveis.

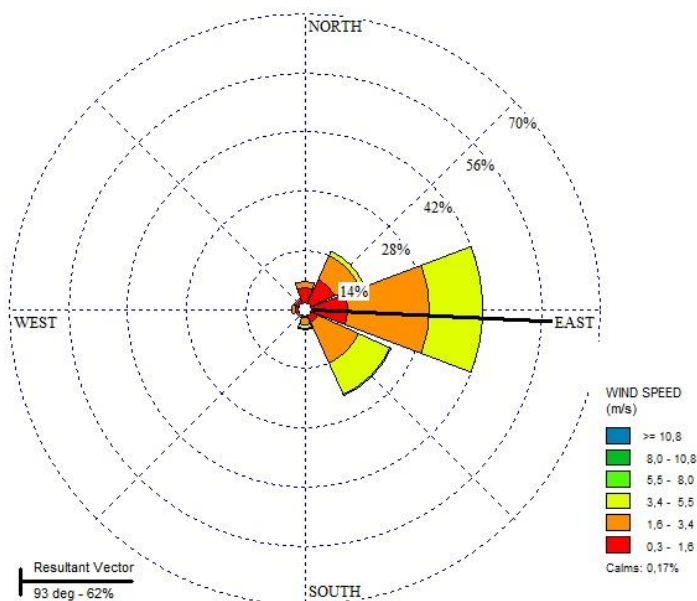
Quadro 18 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Coruripe



Fonte: Elaborado pela autora

O estudo do comportamento da ventilação em Coruripe mostrou que os ventos predominantes foram oriundos da direção leste, enquanto que os secundários foram da direção sudeste, como visto no Gráfico 10. As velocidades mais frequentes registradas no período estudado estiveram principalmente entre 1,6 a 3,4m/s e 0,3 a 1,6m/s, caracterizados como ventos fracos e aragens, respectivamente, segundo a escala de Beaufort (NUNES *et al.*, 2018). O período de calmaria correspondeu a 0,17%.

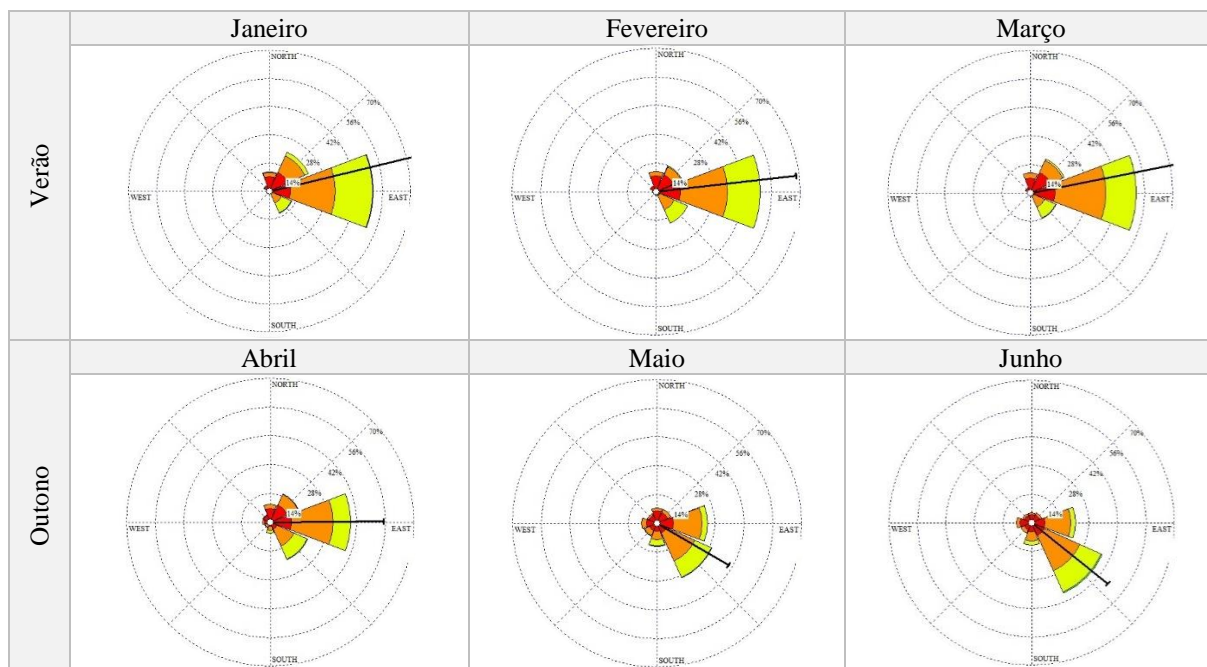
Gráfico 10 – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Coruripe



Fonte: Elaborado pela autora

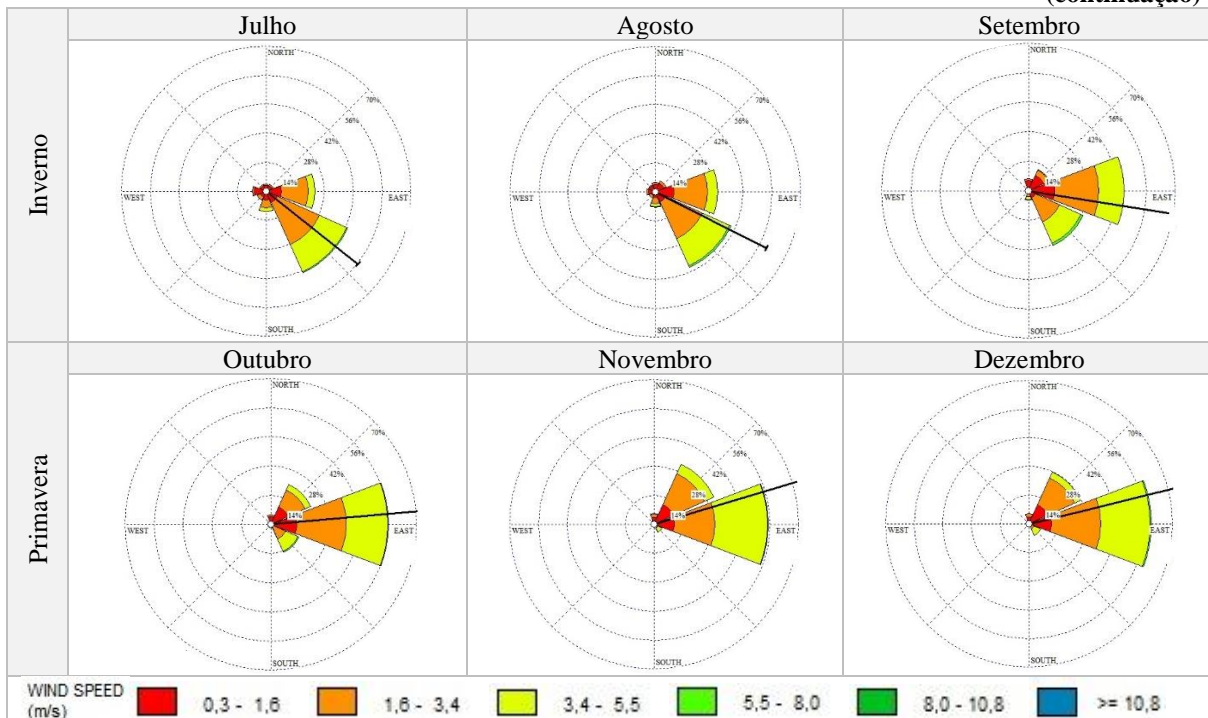
As rosas do vento mensais, exibidas no Quadro 19, mostram que a direção predominante dos ventos variou a depender do mês. De setembro a abril (período seco), a direção predominante é a leste. Já nos meses de maio a agosto (período úmido), a ventilação tem origem principalmente na direção sudeste.

Quadro 19 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em Coruripe



(continua)

(continuação)

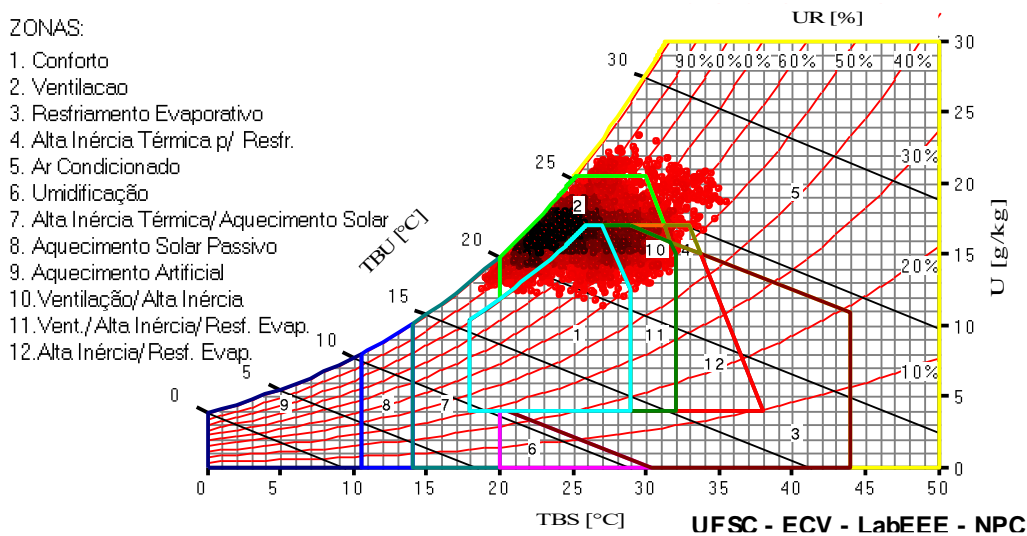


Fonte: Elaborado pela autora

5.2.2. Carta de Givoni

As estratégias bioclimáticas para Coruripe segundo a Carta de Givoni foram baseadas no ano de 2014, escolhido como TRY da cidade. A Carta gerada com os dados de 2014 pode ser vista na Figura 31.

Figura 31 – Carta Bioclimática de Coruripe com dados do ano de 2014 (TRY)



Fonte: Elaborada pela autora

O comportamento climático de Coruripe proporcionou conforto térmico em apenas 17,1% do ano, enquanto, no restante do período (82,8%), ocorreu desconforto causado pelo frio

(0,4%) e pelo calor (82,5%). Os principais resultados apontados pela Carta para a cidade estão sintetizados na Tabela 12.

Tabela 12 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Coruripe-AL

Estratégia		Período	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Ano
		Conforto	12,8%	13,7%	10,9%	31,0%	17,1%
Desconforto	Calor	<i>Sombreamento</i>	100,0%	100,0%	100,0%	98,5%	99,6%
		<i>Ventilação</i>	79,4%	79,1%	87,2%	67,5%	78,3%
		<i>Alta Inércia p/ Resfriamento</i>	17,8%	26,1%	11,9%	3,6%	14,8%
		<i>Resfriamento Evaporativo</i>	16,4%	24,0%	9,8%	3,6%	13,4%
		<i>Ar Condicionado</i>	7,2%	6,9%	1,3%	0,0%	3,8%
	Frio	<i>Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar</i>	0,0%	0,0%	0,0%	1,5%	0,4%

Fonte: Elaborada pela autora

O sombreamento e a ventilação seguem como principais estratégias para minimizar o desconforto térmico em Coruripe. A alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo são estratégias indicadas durante parte do período da primavera/verão (estação menos úmida) como medidas de diminuição das amplitudes térmicas. Porém o uso do resfriamento térmico ativo é recomendado para até 7% das horas nas estações do período seco. O conforto durante a primavera é de 12,8% enquanto, no verão, é de 13,7%.

O outono novamente se apresentou como a estação mais desconfortável (conforto de apenas 10,9%) e o inverno, a mais confortável (conforto de 31%). A alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo são indicadas com menores percentuais que os da época mais seca, e a estratégia para combater o desconforto por frio só é recomendada durante o inverno e em baixo percentual (1,5%).

5.2.3. Método de Mahoney Nebuloso

Algumas características do clima de Coruripe podem ser observadas durante o processamento do Método de Mahoney Nebuloso. A Tabela 13 mostra os dados climáticos médios da cidade e quais as suas características de acordo com os grupos nebulosos referentes a eles. Quanto à temperatura do ar, notou-se que os valores foram considerados altos durante todos o ano, isto é, os graus de pertinência das TM mensais foram máximos (1,00) para o grupo nebuloso “ TM_{alta} ” em todos os meses. A amplitude térmica foi mais pertinente à característica pequena (grupo nebuloso “ $AT_{pequena}$ ”) durante todo o ano, apresentando esta característica de maneira mais acentuada durante os meses do período úmido.

Tabela 13 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) - Coruripe

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (°C)	27,10	27,60	28,00	27,60	26,40	25,30	24,50	24,30	25,00	26,00	26,60	27,30
μ_{TMAlta}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\mu_{TMMédia}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{TMBaixa}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AT (°C)	8,30	8,00	8,10	7,80	7,00	6,80	6,70	7,20	7,50	7,90	8,40	8,50
$\mu_{ATGrande}$	0,41	0,40	0,41	0,39	0,35	0,34	0,33	0,36	0,38	0,39	0,42	0,42
$\mu_{ATPequena}$	0,59	0,60	0,60	0,61	0,65	0,66	0,67	0,64	0,63	0,61	0,58	0,58
URM (%)	76,10	76,80	76,60	79,80	83,30	83,70	83,00	81,80	79,50	77,50	76,90	76,40
$\mu_{URMSeco}$	0,26	0,23	0,24	0,11	0,08	0,08	0,08	0,09	0,12	0,20	0,22	0,24
$\mu_{URMUmido}$	0,74	0,77	0,76	0,89	0,92	0,92	0,92	0,91	0,88	0,80	0,78	0,76
PL Média (mm)	42,80	96,50	50,10	164,70	235,60	174,50	139,60	178,50	56,70	68,10	23,00	11,30
μ_{PLAlta}	0,11	0,24	0,13	0,41	0,57	0,44	0,35	0,45	0,14	0,17	0,06	0,03

Fonte: Elaborada pela autora

Ainda na Tabela 13, pode-se ver que a umidade relativa do ar apresentou um a caracterização bem definida ao longo do ano, sendo fortemente pertinente ao grupo nebuloso “URM_{úmido}” em todos os meses. Porém, a pluviosidade média de Coruripe só obteve pertinência superior a 50% para a característica alta (grupo nebuloso “PL_{alta}”) no mês de maio.

A definição do rigor térmico diurno e noturno da cidade de Coruripe pode ser vista na Tabela 14. O rigor térmico atingiu valores indicativos de que a cidade apresenta dias quentes ao longo de todo o ano (pertinências maiores para o conjunto nebuloso RT_{dia-quente}). Já durante a noite, os valores sugerem que o rigor térmico é confortável durante todo o ano (pertinências maiores para o conjunto nebuloso RT_{noite-confortável}), especialmente nos meses do período úmido.

Tabela 14 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) - Coruripe

RT_{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\mu_{RTdia - Frio}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RTdia - Confortável}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RTdia - Quente}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00
RT_{noite}												
$\mu_{RTnoite - Frio}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,17	0,06	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RTnoite - Confortável}$	0,81	0,72	0,66	0,69	0,80	0,95	0,91	0,83	0,94	0,93	0,89	0,78
$\mu_{RTnoite - Quente}$	0,19	0,28	0,34	0,31	0,20	0,05	0,00	0,00	0,00	0,07	0,11	0,22

Fonte: Elaborada pela autora

A verificação da frequência dos indicadores de umidade e aridez de Coruripe é mostrada na Tabela 15. Percebe-se que o indicador com maior frequência anual na cidade foi o de aridez A2, que apresentou valores elevados por todo o ano. Este indicador é definido pela possibilidade de se para dormir ao ar livre. O indicador de umidade H1 foi o segundo mais

frequente em Coruripe, com valores altos também em todos os meses, porém em menor grau de pertinência que o indicador A2. O indicador H1 tem como particularidade a necessidade de movimentação do ar.

Tabela 15 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) - Coruripe

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}	0,74	0,77	0,76	0,89	0,92	0,92	0,91	0,91	0,88	0,80	0,78	0,76	10,04
μ_{H2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
μ_{H3}	0,11	0,24	0,13	0,41	0,57	0,44	0,35	0,45	0,14	0,17	0,06	0,03	3,09
μ_{A1}	0,26	0,23	0,24	0,11	0,08	0,08	0,08	0,09	0,12	0,20	0,22	0,24	1,96
μ_{A2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	11,84
μ_{A3}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

A frequência de cada indicador climático permitiu a modelagem (ver Apêndice D) e determinação das estratégias recomendadas pelo MMN (R). As recomendações para Coruripe estão em destaque no Quadro 20.

Quadro 20 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) - Coruripe

Pertinência	Recomendação	
Traçado		
1,00	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
Espaçamento		
0,04	R3	Espaço aberto para penetração de brisa
0,96	R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0,00	R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
Movimento do ar		
1,00	R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	R8	Não é necessário o movimento do ar
Aberturas		
0,04	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
0,96	R11	Aberturas medianas, 20-40%
Paredes		
1,00	R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
0,00	R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
Coberturas		
1,00	R14	Coberturas isoladas leves
0,00	R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
Espaço para dormir ao ar livre		
1,00	R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
Proteção contra chuvas pesadas		
1,00	R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Elaborado pela autora

5.2.4. Discussão das estratégias bioclimáticas

O Quadro 21 mostra as sugestões projetuais indicadas pela NBR 15220-3 para a Zona 8, a qual Coruripe pertence, e as indicadas pelos métodos de Givoni e Mahoney Nebuloso para a cidade.

Quadro 21 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Coruripe

Métodos	NBR 15220-3 (ZB-8)	Givoni	MMN
Diretrizes	Sombrear aberturas	Sombreamento durante todo o ano	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
	Ventilação cruzada permanente	Ventilação durante todo o ano, principalmente na primavera, verão e inverno	Espaço aberto para penetração de brisa, porém com proteção contra o vento frio/quente Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
	Aberturas para ventilação grandes (AZBB>40%)	-	Aberturas medianas (AMMN=20-40%)
	Parede leve refletora	Alta inércia para resfriamento nos dias mais quentes da primavera e verão	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
	Cobertura leve refletora		Coberturas isoladas leves
	-	Resfriamento evaporativo em dias mais quentes da primavera e verão	-
	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	Ar condicionado em dias mais quentes da primavera e verão	-
	-	-	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	-	-	Necessidade de proteção contra chuva intensa
	-	Alta inércia/Aquec. solar em noites mais frias do inverno	-

Fonte: Elaborado pela autora

O sombreamento é a principal estratégia bioclimática a ser aplicada para diminuir o desconforto por calor na cidade, pois a estratégia é sugerida sempre que a temperatura do ar ultrapassar os 20°C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Uma vez que a estratégia é altamente recomendada ao longo de todo o ano, a mesma pode ser implementada por meio de instrumentos de proteção solar permanentes, contanto que não comprometa a iluminação natural, o fluxo da ventilação dentro da edificação, além de proteger a edificação adequadamente contra as chuvas intensas. A orientação da edificação sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) promoveria menor exposição da mesma à insolação, mas é indispensável que seja realizado o estudo da carta solar do local para encontrar as melhores soluções.

A ventilação cruzada é a segunda estratégia mais importante a ser adotada, já que também é altamente recomendada por todo o ano, especialmente no outono. Para que a implementação da estratégia seja eficaz, o espaçamento entre as edificações deve ser adequado.

Ressalta-se a necessidade de plantas baixas fluidas de modo a facilitar o movimento do ar. Além disso, deve-se atentar para a disposição das aberturas em fachadas opostas, sobretudo avaliando as direções leste e sudeste, das quais se originam os ventos predominantes. Pode ser necessário o uso de ventilação mecânica em momentos de calma, principalmente nos meses de outono.

O uso de aberturas que permitam a ventilação seletiva é aconselhável uma vez que os fluxos de vento acarretam ganhos térmicos quando a temperatura do ar for superior a 32°C (GIVONI, 1997). Diferentemente do Zoneamento Bioclimático que recomenda aberturas grandes para a ventilação de cidades da Zona 8, o Mahoney Nebuloso indica que, em Coruripe, estas aberturas devem ser medianas, com áreas de abertura entre 20 e 40% da área total da parede.

O uso da alta inércia térmica para resfriamento foi identificado como aconselhável para Coruripe apenas em momentos restritos, mais frequentes no verão e na primavera. O MMN recomenda a baixa inércia térmica. Portanto, é mais benéfico que as edificações possuam paredes leves e refletoras assim como suas coberturas que, além de leves, devem ser isoladas da estrutura da edificação de modo a reduzir os ganhos térmicos por meio da cobertura.

O resfriamento evaporativo foi uma estratégia recomendada principalmente para a primavera e o verão. Considerando que, mesmo nestas estações, os meses tendem a ser úmidos (Tabela 13), conclui-se que a medida tem seu proveito restrito aos dias mais secos. Assim, é recomendável o uso da estratégia de maneira ajustável ou pelo emprego de vegetação.

As noites de Coruripe foram consideradas confortáveis durante praticamente todo o ano (Tabela 14), por isso foi recomendado dormir ao ar livre. Por questões de segurança, esta medida pode ser interpretada como o aproveitamento da ventilação noturna dentro da edificação de modo que a estrutura da mesma é resfriada ao mesmo tempo em que o ar quente é substituído pelo fresco.

Nos dias em que as condições climáticas forem extremas para o calor ou para o frio, pode ser necessário o uso de ar condicionado ou de alta inércia térmica combinada com aquecimento solar, respectivamente. No caso do ar condicionado, deve-se observar a eficiência energética do aparelho e as vedações do ambiente climatizado. Quanto à necessidade de aquecimento do ambiente, é preferível que a estratégia seja implementada por meio de instrumentos temporários já que é exigida em situações muito raras.

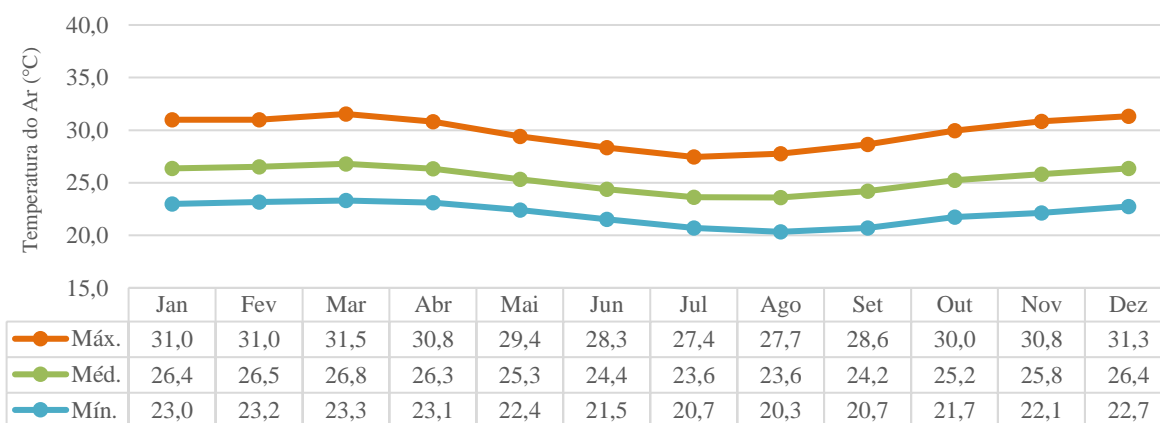
5.3. Maceió

Assim como nas cidades anteriores, em Maceió, os resultados também foram apresentados em três partes. Primeiro, foi exposta uma análise feita sobre os dados coletados para esta pesquisa, tratando da temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e ventilação da cidade. Em seguida, foram abordadas as estratégias bioclimáticas segundo o método de Givoni (1992) e, logo em seguida, foram expostas as recomendações projetuais indicadas pelo Método de Mahoney Nebuloso (1999).

5.3.1. Análise climática da série histórica

Maceió apresenta valores de temperatura média do ar com pequena variação ao longo do ano, variando entre 23,6°C e 26,8°C. É possível observar no Gráfico 11 que os meses mais quentes vão de outubro a maio (primavera e verão) com temperaturas médias acima de 25°C. Já os meses de junho a setembro (outono e inverno) são levemente mais frescos. A maior média de temperatura máxima foi notada em março (31,5°C). Já o mês com menor média mínima foi agosto (20,3°C).

Gráfico 11 – Temperatura média mensal do ar de Maceió



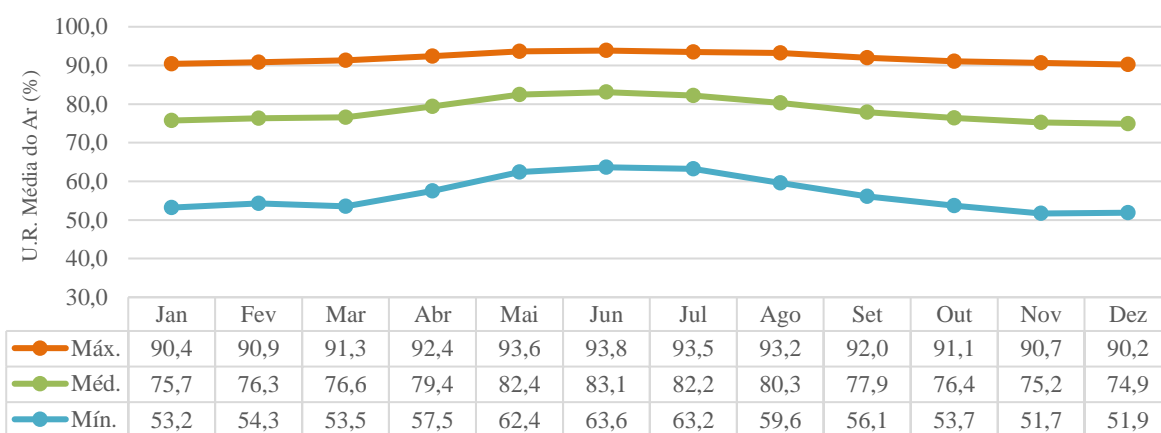
Fonte: Elaborado pela autora

Em Maceió, os valores de amplitude térmica mensal tiveram pequena variação ao longo do ano e, assim como em Coruripe, as variações são sensivelmente inferiores às verificadas em Arapiraca. O menor valor médio ocorreu nos meses de junho e julho (6,8°C), enquanto a maior amplitude média aconteceu em novembro (8,7°C). Entre maio e agosto (período de chuvas), os valores são ligeiramente inferiores aos demais meses (período seco).

Os valores de umidade relativa do ar de Maceió são altos em todos os meses, como visto no Gráfico 12, devido à sua proximidade com o mar. A umidade relativa média da cidade permanece entre 70% e 80% em todo o ano, ultrapassando este limite nos meses mais úmidos

(maio, junho e julho). Os valores médios máximos foram estimados acima dos 90% ao longo de todo o ano. Quanto às umidades relativas médias mínimas, percebe-se uma maior diferenciação entre os meses mais secos e os mais úmidos. De abril a agosto, os valores se aproximaram dos 60%, enquanto, de outubro a março, eles foram mais próximos dos 50%.

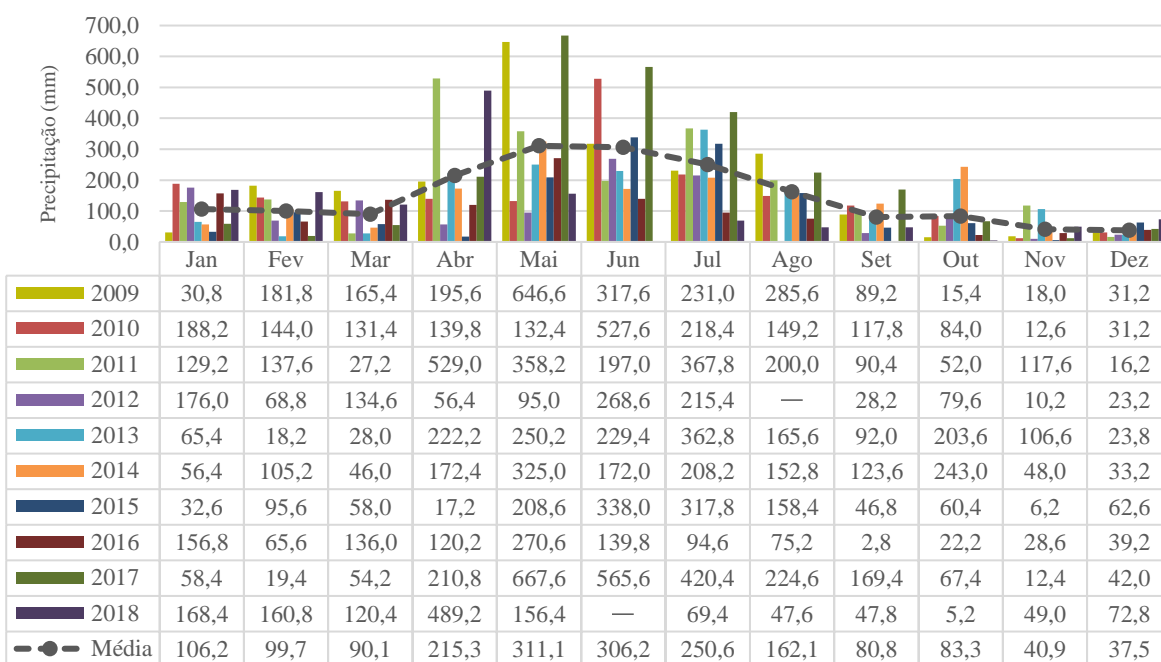
Gráfico 12 – Umidade relativa média mensal do ar de Maceió



Fonte: Elaborado pela autora

Embora tenha havido variações perceptíveis nos totais pluviométricos anuais em Maceió, observou-se que os valores estiveram sempre acima de 1000mm. O ano mais chuvoso foi 2017, com 2512,2mm e o mais seco foi 2016 com 1151,6mm de acúmulo anual⁴⁰, observado no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Precipitação média mensal de Maceió



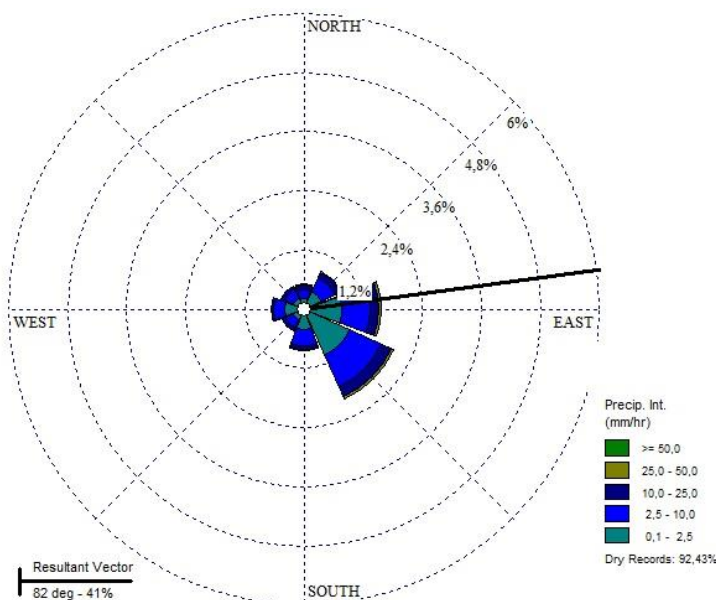
Fonte: Elaborado pela autora

⁴⁰ Considerando apenas os anos com todos os valores totais mensais disponíveis.

A média anual dos totais pluviométricos foi de 1737,0mm, a maior entre todas as cidades estudadas nesta pesquisa. Quanto à análise mensal, os meses de abril a agosto se mostraram os mais chuvosos, enquanto de setembro a março as médias mensais estiveram próximas ou abaixo dos 100mm.

A rosa de chuvas de Maceió, vista no Gráfico 14, mostra que a direção predominante das chuvas que ocorrem na cidade é a sudeste, enquanto que a direção secundária é a leste. A intensidade das chuvas esteve predominantemente entre 0,1 e 2,5mm/h seguida de 2,5 a 10mm/h, caracterizadas como chuvisco e chuvas fracas (LEITE; ADACHESKI, VIRGENS FILHO, 2011), respectivamente.

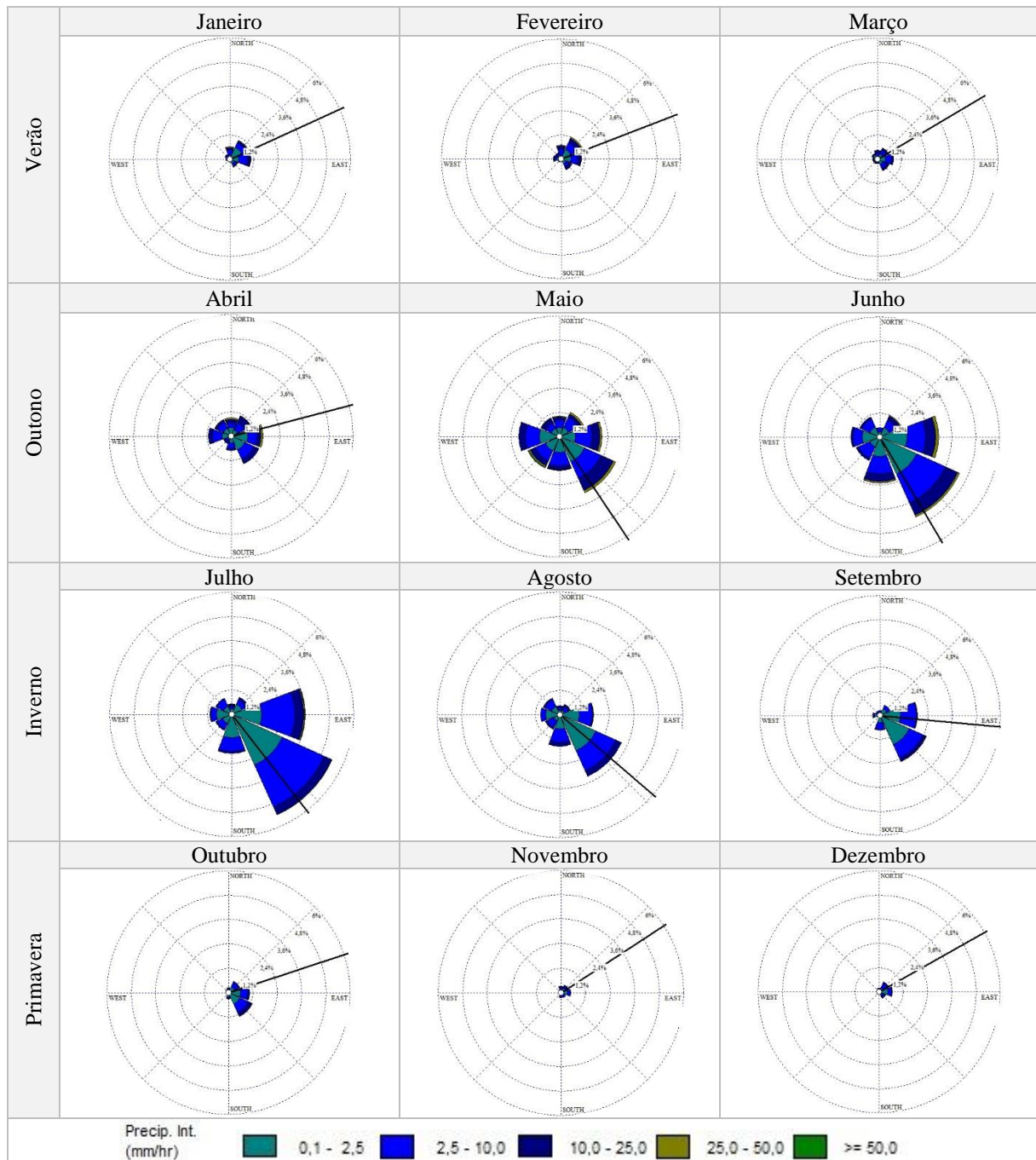
Gráfico 14 – Rosa de chuva com média anual de totais pluviométricos e direção das chuvas em Maceió



Fonte: Elaborado pela autora

As rosas de chuvas mensais exibidas no Quadro 22 mostraram que, embora a direção predominante nos meses mais chuvosos tenha sido bem definida (sudeste), as direções secundárias nestes meses variaram bastante entre leste, sul e até oeste. As direções predominantes nos meses menos chuvosos foram predominantemente leste e nordeste.

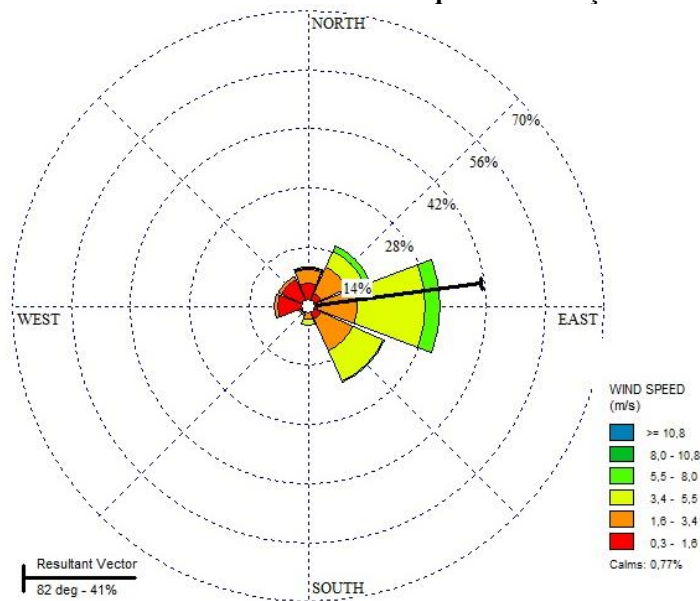
Quadro 22 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Maceió



Fonte: Elaborado pela autora

Em Maceió, a análise da ventilação revelou que a direção predominante dos ventos foi a leste e a secundária, a sudeste, visto na rosa dos ventos da cidade no Gráfico 15. As velocidades do vento ocorreram com distribuição semelhante entre as faixas 1,6 a 3,4m/s (ventos fracos) e 3,4 a 5,5m/s (bonançoso). Porém, a faixa com maior frequência foi a 0,3 a 1,6m/s (aragem) enquanto o período de calmaria foi de 0,77%.

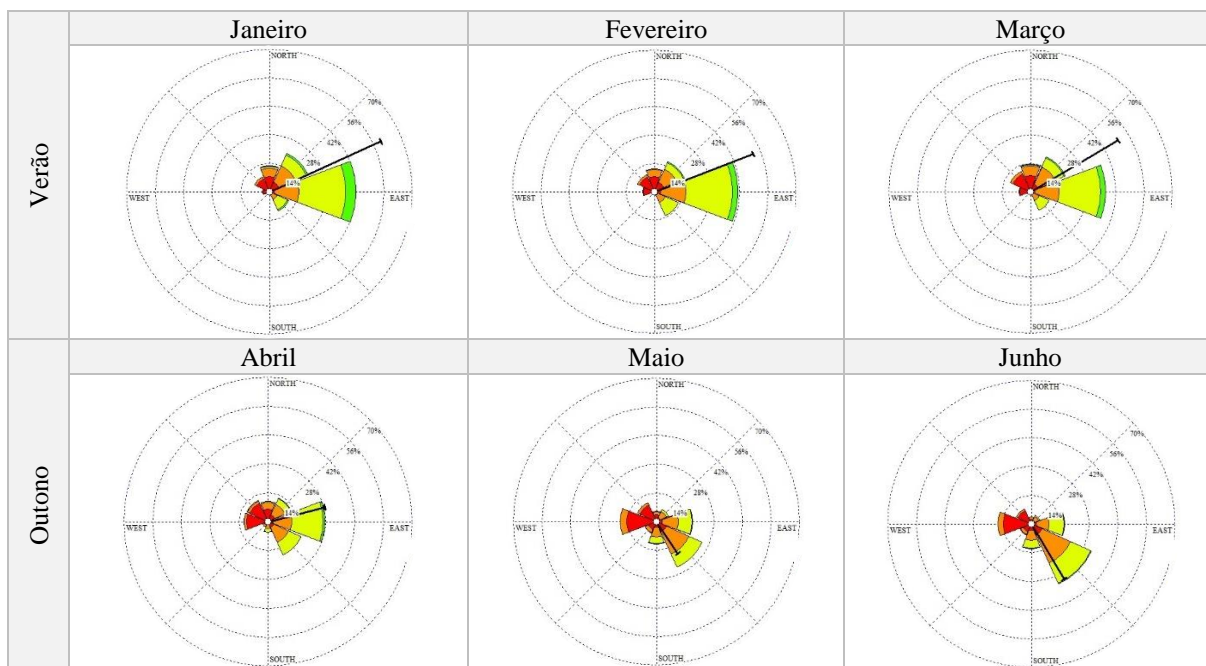
Gráfico 15 – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Maceió



Fonte: Elaborado pela autora

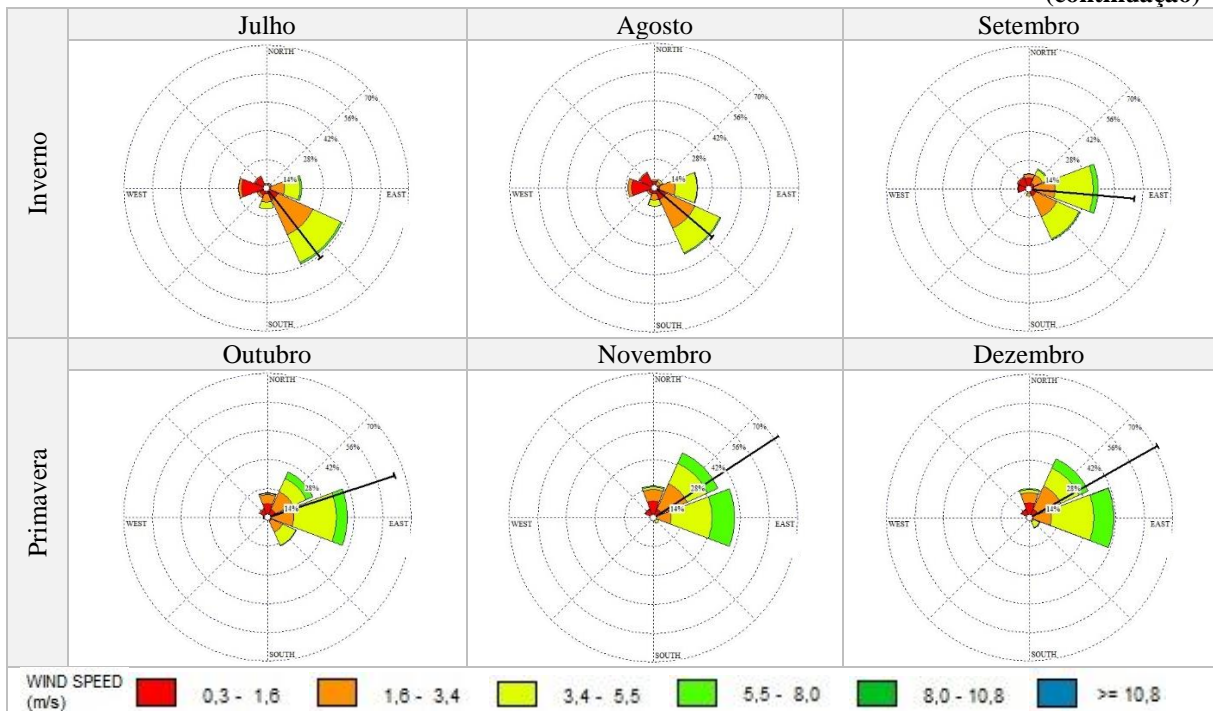
As rosas dos ventos mensais de Maceió mostraram que a direção predominante de incidência dos ventos variou ao longo dos meses, observadas no Quadro 23. De setembro a abril (período seco), a direção predominante dos ventos é a leste e a secundária variou entre nordeste e sudeste. Já de maio a agosto (período úmido), a direção principal foi a sudeste enquanto as secundárias foram, respectivamente, leste e oeste, esta última, com velocidades mais baixas.

Quadro 23 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em Maceió



(continua)

(continuação)

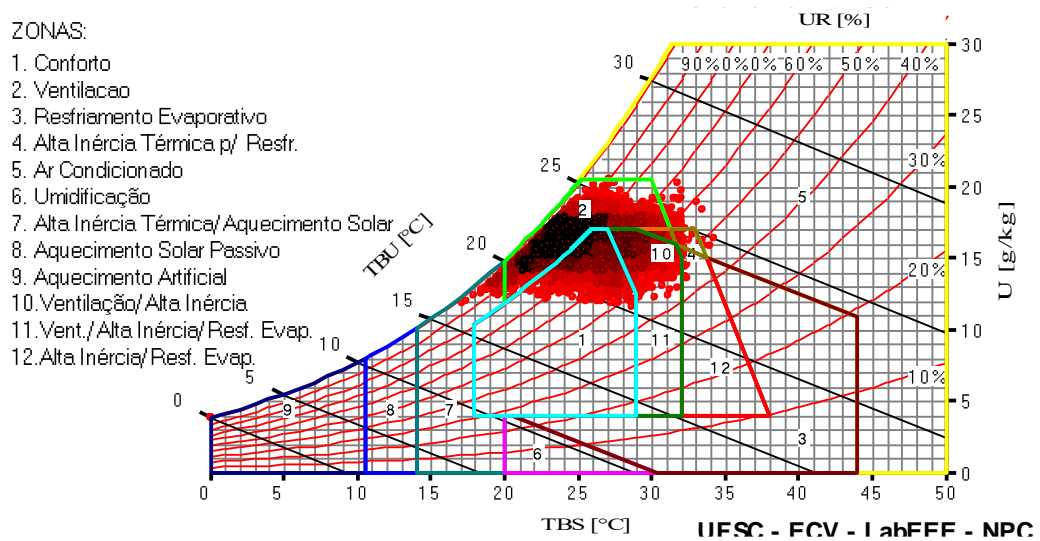


Fonte: Elaborado pela autora

5.3.2. Carta de Givoni

Maceió teve como TRY o ano de 2018. Assim, as estratégias bioclimáticas para cidade segundo a Carta de Givoni foram baseadas no mesmo. A distribuição dos dados deste ano sobre a Carta pode ser vista na Figura 32.

Figura 32 – Carta Bioclimática de Maceió com dados do ano de 2018 (TRY)



Fonte: Elaborada pela autora

Os resultados segundo a Carta apontaram que a cidade apresenta conforto térmico em 25,5% do ano e que o desconforto (74,5%) é 1,5% gerado por frio e 73,0% por calor. As recomendações para diminuição do desconforto são vistas na Tabela 16.

Tabela 16 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Maceió-AL

Estratégia		Período	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Ano
			Conforto	29,4%	11,2%	14,6%	46,6%
Desconforto	Calor	<i>Sombreamento</i>	100,0%	100,0%	99,6%	94,5%	98,5%
		<i>Ventilação</i>	69,7%	85,9%	84,7%	47,9%	72,0%
		<i>Alta Inércia p/ Resfriamento</i>	27,0%	22,6%	12,0%	2,8%	16,0%
		<i>Resfriamento Evaporativo</i>	25,8%	18,3%	11,3%	2,7%	14,4%
		<i>Ar Condicionado</i>	0,3%	1,8%	0,1%	0,0%	0,6%
	Frio	<i>Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar</i>	0,0%	0,0%	0,4%	5,4%	1,5%

Fonte: Elaborada pela autora

Durante a primavera e verão (época menos úmida), o percentual de conforto é de 29,4% e 11,2%, respectivamente. O verão foi o período mais desconfortável (conforto de 11,2%). Já o inverno, esteve quase a metade do tempo em condições de conforto térmico (46,6%) e apresentou pequena necessidade de inércia térmica combinada com aquecimento solar para os horários mais frios do inverno (5,4%).

O sombreamento e a ventilação são as estratégias mais indicadas, porém, a ventilação apresenta percentuais consideravelmente menores nas estações primavera e inverno com relação aos apresentados no verão e no outono, devido às temperaturas mais amenas, indicando que os dispositivos para a promoção dos ventos na edificação devem permitir a ventilação seletiva.

A alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo continuam sendo indicados para parte do período seco, assim como o ar condicionado em certas horas do verão.

5.3.3. Método de Mahoney Nebuloso

Algumas das principais características climáticas de Maceió podem ser apreciadas no Quadro I do Método de Mahoney Nebuloso, mostrado na Tabela 17. As temperaturas médias mensais da cidade foram classificadas como altas em todos os meses do ano devido a apresentarem pertinência total (1,00) ao conjunto nebuloso “ TM_{alta} ”. A amplitude térmica da cidade foi considerada pequena, praticamente sem variação ao longo do ano.

Tabela 17 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) - Maceió

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (°C)	26,40	26,50	26,80	26,30	25,30	24,40	23,60	23,60	24,20	25,20	25,80	26,40
μ TMA _{alta}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
μ TMM _{média}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
μ TMB _{baixa}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AT (°C)	8,00	7,80	8,20	7,70	7,00	6,80	6,70	7,40	7,90	8,30	8,70	8,60
μ AT _{grande}	0,40	0,39	0,41	0,39	0,35	0,34	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,43
μ ATP _{pequena}	0,60	0,61	0,59	0,62	0,65	0,66	0,67	0,63	0,60	0,59	0,57	0,57
URM (%)	75,70	76,30	76,60	79,40	82,40	83,10	82,20	80,30	77,90	76,40	75,20	74,90
μ URM _{seco}	0,27	0,25	0,24	0,12	0,09	0,08	0,09	0,10	0,18	0,24	0,29	0,30
μ URM _{úmido}	0,73	0,75	0,76	0,88	0,91	0,92	0,91	0,90	0,82	0,76	0,71	0,70
PL Média (mm)	106,20	99,70	90,10	215,30	311,10	306,20	250,60	162,10	80,80	83,30	40,90	37,50
μ PL _{alta}	0,27	0,25	0,23	0,53	0,72	0,71	0,60	0,41	0,20	0,21	0,10	0,09

Fonte: Elaborada pela autora

A Tabela 17 também mostra que a umidade relativa do ar de Maceió é alta o suficiente para caracterizar o clima como úmido durante todo o ano (pertinência alta para o conjunto nebuloso “URM_{úmido}”). Quanto à pluviosidade, de abril a julho, a variável apresentou valores médios que a caracterizou como alta (conjunto nebuloso “PL_{alta}”).

A partir da análise dos dados climáticos, foram definidas as características de rigor térmico para durante o dia e durante a noite em cada mês do ano, como visto na Tabela 18. Segundo a análise, os dias se caracterizaram como quentes durante todo o ano, isto é, grau de pertinência alto (acima de 0,70) para o conjunto nebuloso “RT_{dia-quente}”. Já as noites foram consideradas confortáveis uma vez que os maiores graus de pertinência ocorreram no conjunto nebuloso “RT_{noite-confortável}” em todos os meses.

Tabela 18 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) - Maceió

RT_{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
μ RT _{dia - Frio}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
μ RT _{dia - Confortável}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,23	0,19	0,06	0,00	0,00	0,00
μ RT _{dia - Quente}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,77	0,81	0,94	1,00	1,00	1,00
RT_{noite}												
μ RT _{noite - Frio}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,28	0,36	0,30	0,12	0,05	0,00
μ RT _{noite - Confortável}	0,91	0,87	0,86	0,87	0,97	0,87	0,72	0,64	0,70	0,88	0,95	0,96
μ RT _{noite - Quente}	0,09	0,13	0,14	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04

Fonte: Elaborada pela autora

Em seguida, foi feita a aferição dos indicadores climáticos de umidade e aridez para Maceió, de acordo com a Tabela 19. É possível observar que o indicador mais presente na cidade é o de aridez A2, cuja característica é a possibilidade de se dormir ao ar livre. Este

indicador foi o mais frequente em todos os meses do ano, mesmo nos do período úmido. O segundo indicador mais presente foi o de umidade H1, caracterizado pela necessidade de movimento do ar, também com valores de pertinência altos para todos os meses do ano, embora ligeiramente inferiores aos do indicador A2 e iguais a este entre julho e setembro.

Tabela 19 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) - Maceió

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}	0,73	0,75	0,76	0,88	0,91	0,90	0,77	0,81	0,82	0,76	0,71	0,70	9,48
μ_{H2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,23	0,19	0,06	0,00	0,00	0,00	0,59
μ_{H3}	0,27	0,25	0,23	0,53	0,72	0,71	0,60	0,41	0,20	0,21	0,10	0,09	4,32
μ_{A1}	0,27	0,25	0,24	0,12	0,09	0,08	0,09	0,10	0,18	0,24	0,29	0,30	2,26
μ_{A2}	1,00	1,00	1,00	0,89	1,00	0,90	0,77	0,81	0,94	1,00	1,00	1,00	11,30
μ_{A3}	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11

Fonte: Elaborada pela autora

Após a verificação da frequência dos indicadores climáticos, foi possível modelar as recomendações projetuais indicadas para a cidade pelo MMN (ver Apêndice D). As estratégias recomendadas (R) para Maceió estão destacadas no Quadro 24.

Quadro 24 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) - Maceió

Pertinência	Recomendação	
	Traçado	
1,00	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
	Espaçamento	
0,00	R3	Espaço aberto para penetração de brisa
1,00	R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0,00	R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
	Movimento do ar	
1,00	R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	R8	Não é necessário o movimento do ar
	Aberturas	
0,00	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
1,00	R11	Aberturas medianas, 20-40%
	Paredes	
0,74	R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
0,26	R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
	Coberturas	
1,00	R14	Coberturas isoladas leves
0,00	R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
	Espaço para dormir ao ar livre	
1,00	R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	Proteção contra chuvas pesadas	
1,00	R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Elaborado pela autora

5.3.4. Discussão das estratégias bioclimáticas

As sugestões construtivas recomendadas para a Zona 8 do ZBB (a qual Maceió pertence), bem como as indicadas pelos métodos de Givoni e de Mahoney Nebuloso estão reunidas no Quadro 25.

Quadro 25 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Maceió

Métodos	NBR 15220-3 (ZB-8)	Givoni	MMN
Diretrizes	Sombrear aberturas	Sombreamento durante todo o ano	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
	Ventilação cruzada permanente	Ventilação durante todo o ano, principalmente no verão e outono	Espaço aberto para penetração de brisa, porém com proteção contra o vento frio/quente
	Aberturas para ventilação grandes (AZBB>40%)	-	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
	Parede leve refletora	Alta inércia para resfriamento nos dias mais quentes da primavera e verão	Aberturas medianas (AMMN=20-40%)
	Cobertura leve refletora		Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
	-	Resfriamento evaporativo em dias mais quentes da primavera e verão	Coberturas isoladas leves
	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	Ar condicionado em dias mais quentes da primavera verão e outono	-
	-	-	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	-	-	Necessidade de proteção contra chuva intensa
	-	Alta inércia/Aquec. solar em noites mais frias do outono e inverno	-

Fonte: Elaborado pela autora

A principal medida para atenuação do desconforto por calor em Maceió é o sombreamento da edificação, uma vez que a aplicação de sombreamento é recomendada quando a temperatura do ar for maior que 20°C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Esta estratégia deve ser aplicada durante todo o ano, portanto é recomendável o uso de mecanismos de sombreamento permanentes. A medida deve ser pensada de maneira integrada com a iluminação natural e a ventilação, além de proteger a edificação contra as chuvas intensas. A maneira mais correta de se alcançar soluções eficientes para o bloqueio da insolação é por meio do estudo da carta solar local. De qualquer forma, o MMN aconselha a disposição da edificação no eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para diminuir a exposição da mesma ao sol.

O uso de ventilação cruzada também é fundamental para a minimização do desconforto por calor em Maceió uma vez que é bastante preconizada para o ano inteiro, especialmente no verão e no outono. Para isso, é necessário contemplar o uso de aberturas em fachadas opostas,

sabendo que os ventos predominantes são os das direções leste, nordeste (nos meses de maior necessidade, ou seja, de outubro a março) e sudeste, além de atentar para um espaçamento que favoreça a penetração dos ventos entre as edificações e dar preferência a plantas baixas fluidas. Nos momentos de calmaria, sobretudo no outono, pode ser usada ventilação mecânica auxiliar.

Quanto ao tamanho das aberturas, houve divergência entre as metodologias sobre serem grandes (ZBB) ou medianas (MMN). Além de serem medianas (área de abertura entre 20 a 40% da área da parede), as esquadrias devem permitir o controle da entrada dos ventos para que se possa evitá-los quando a temperatura do ar for maior que 32°C, limite citado por Givoni (1997) para se evitar ganhos térmicos por convecção.

Em Maceió, a alta inércia térmica para resfriamento é necessária durante os períodos mais quentes do ano, mas com baixo percentual. Além disso, tanto o ZBB quanto o Mahoney Nebuloso recomendam o uso de baixa inércia térmica. Levando em consideração o baixo aproveitamento que a estratégia alcançaria, o mais indicado é o uso de paredes e coberturas leves e refletoras, sendo a cobertura isolada da estrutura da edificação.

Maceió teve o resfriamento evaporativo recomendado em maior percentual durante a primavera e o verão, período com dias mais secos. A caracterização da cidade como úmida em todos os meses do ano (Tabela 17) aponta que o aumento da umidificação do ar só será proveitoso durante os dias mais secos do ano. Por isso a estratégia deve ser aplicada de forma momentânea ou por meio de vegetação.

Uma estratégia para se reduzir o desconforto por calor à noite é a implantação de espaços para dormir ao ar livre. Isto é possível pelo fato de as noites da cidade serem consideradas confortáveis em quase todo o ano (Tabela 18). A estratégia pode ser substituída pelo uso da ventilação noturna de modo a promover a troca do ar quente diurno por ar fresco sem comprometer a segurança do usuário da edificação.

O uso de ar condicionado pode ser necessário em dias de calor extremo, assim como o emprego de alta inércia térmica para aquecimento associada ao aquecimento solar pode ser necessário nos dias mais frios do ano. Se adquiridos, deve-se buscar aparelhos de ar condicionado com boa eficiência energética e tomar cuidado para que o ambiente climatizado seja bem vedado. Quanto à estratégia para o frio, deve-se buscar meios de aquecer o ambiente de maneira temporária, já que as ocasiões em que a medida é necessária são poucas.

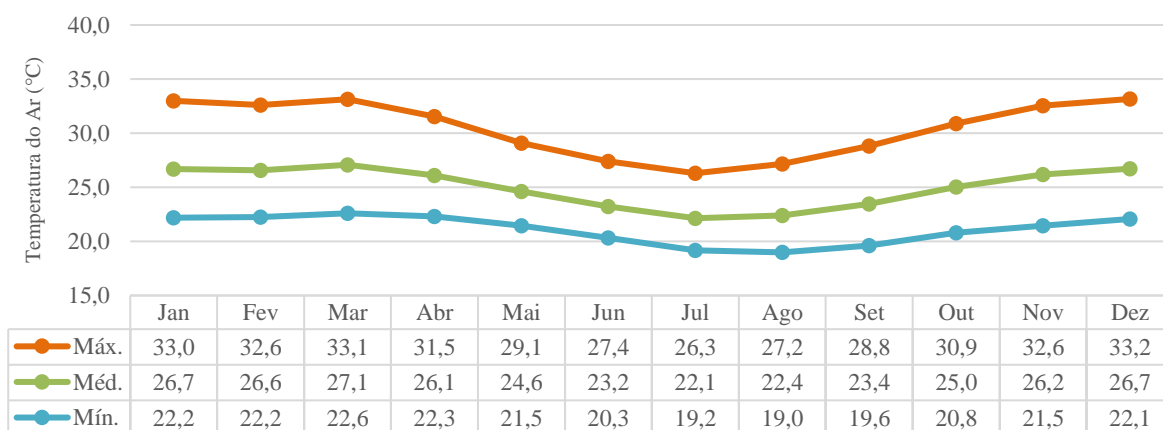
5.4. Palmeira dos Índios

Os resultados referentes a Palmeira dos Índios também foram introduzidos pelo estudo dos dados climáticos coletados para esta pesquisa com relação às variáveis de temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e ventilação. Logo após, foram expostas as estratégias bioclimáticas recomendadas pelo método de Givoni (1992). Por fim, foram apontadas as estratégias recomendadas pelo Método de Mahoney Nebuloso (1999).

5.4.1. Análise climática da série histórica

Os dados de temperatura média do ar de Palmeira dos Índios mostraram que os meses de maio a setembro (outono e inverno) constituem o período mais frio do ano, com valores abaixo dos 25°C, mostrado no Gráfico 16. Já durante os meses de outubro a abril (primavera e verão), os valores registrados foram mais altos, constituindo o período mais quente do ano. A maior média máxima atingida no ano ocorreu no mês de dezembro (33,2°C) e a menor média mínima pertenceu ao mês de agosto (19,0°C). Os valores de temperatura média giraram em torno de 22,1°C e 27,1°C.

Gráfico 16 – Temperatura média mensal do ar de Palmeira dos Índios



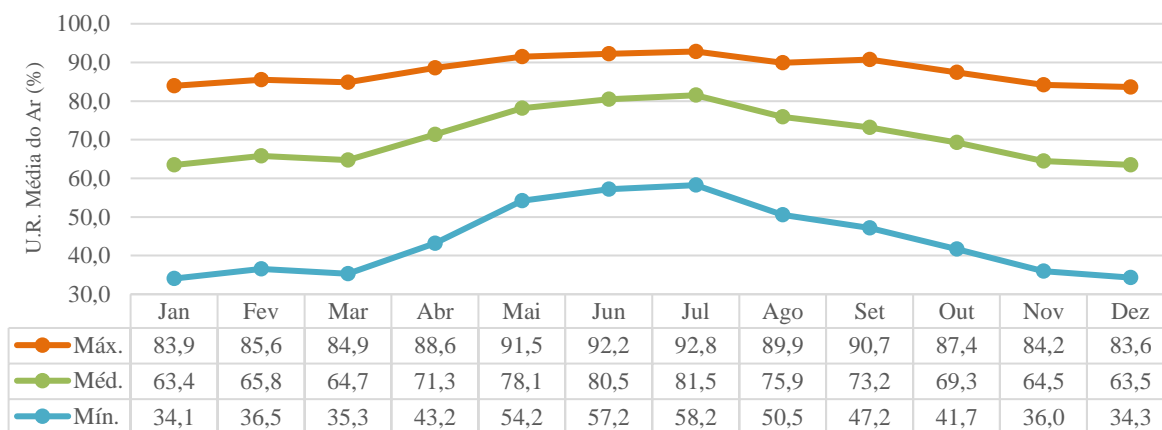
Fonte: Elaborado pela autora

Palmeira dos Índios apresentou uma variação de amplitudes mensais considerável ao longo do ano. De maio a agosto (período úmido), as amplitudes foram perceptivelmente inferiores às dos meses de setembro a abril (período seco). Nos meses de temperatura mais amena, a menor média foi de 7,6°C (junho). Já nos meses mais quentes, a maior média foi de 11,8°C (novembro e dezembro).

Em Palmeira dos Índios, é nítida a diferenciação dos meses úmidos dos meses secos mostrada no Gráfico 17. Entre abril e setembro, as umidades relativas médias do ar da cidade se mantiveram acima dos 70%, chegando a mais de 80% nos meses mais úmidos (junho e julho),

enquanto, nos demais meses, os valores ficam na casa dos 60%. As umidades relativas máximas se mantiveram acima de 80% ao longo do ano, ultrapassando os 90% em maio, junho e julho. Já as umidades relativas mínimas, se mantiveram acima dos 50% de maio a agosto, enquanto não chegaram a 40% de novembro a março.

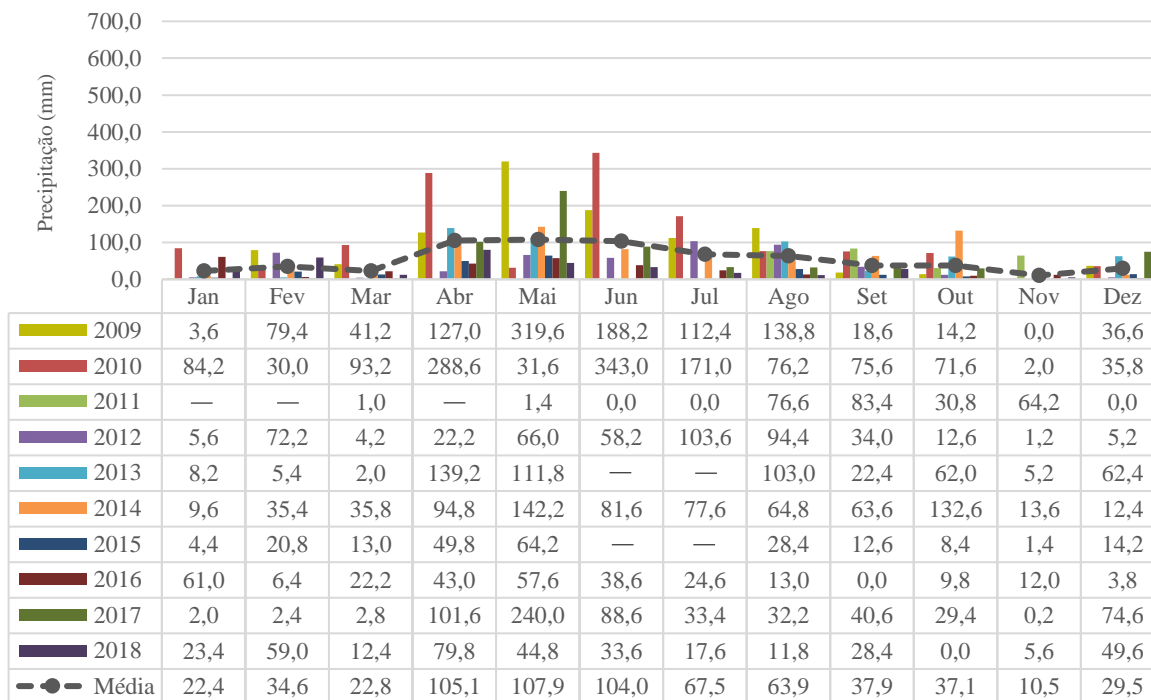
Gráfico 17 – Umidade relativa média mensal do ar de Palmeira dos Índios



Fonte: Elaborado pela autora

Em Palmeira dos Índios, a variação pluviométrica de ano para ano foi grande, como visto no Gráfico 18. O ano mais seco dentre os estudados foi 2016, com um total de 292mm acumulados, enquanto 2010 registrou 1302,8mm de total pluviométricos⁴¹.

Gráfico 18 – Precipitação média mensal de Palmeira dos Índios



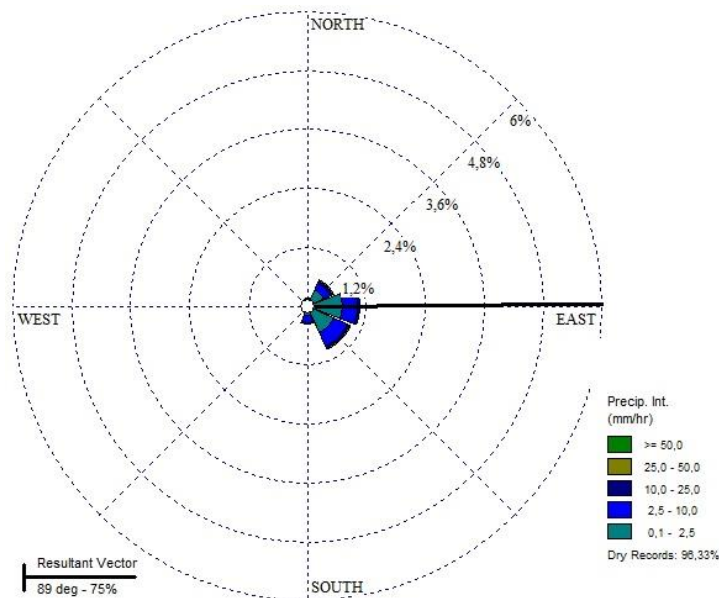
Fonte: Elaborado pela autora

⁴¹ Considerando apenas os anos com todos os valores totais mensais disponíveis.

O período chuvoso se inicia no mês de abril e termina entre agosto e setembro. É possível notar, ainda no Gráfico 18, que abril, maio e junho se destacam como meses mais chuvosos, com totais mensais médios acima de 100mm. O total pluviométrico médio anual encontrado foi de 592,8mm.

O Gráfico 19 mostra a rosa de chuvas de Palmeira dos Índios. Nela, observa-se que a direção predominante de ocorrência das chuvas na cidade é a leste, seguida pela direção sudeste. As chuvas ocorreram em maior frequência com a intensidade de 0,1 a 2,5mm/h seguida de 2,5 a 10mm/h, caracterizando as mesmas como chuvisco e chuvas fracas (LEITE; ADACHESKI; VIRGENS FILHO, 2011), respectivamente.

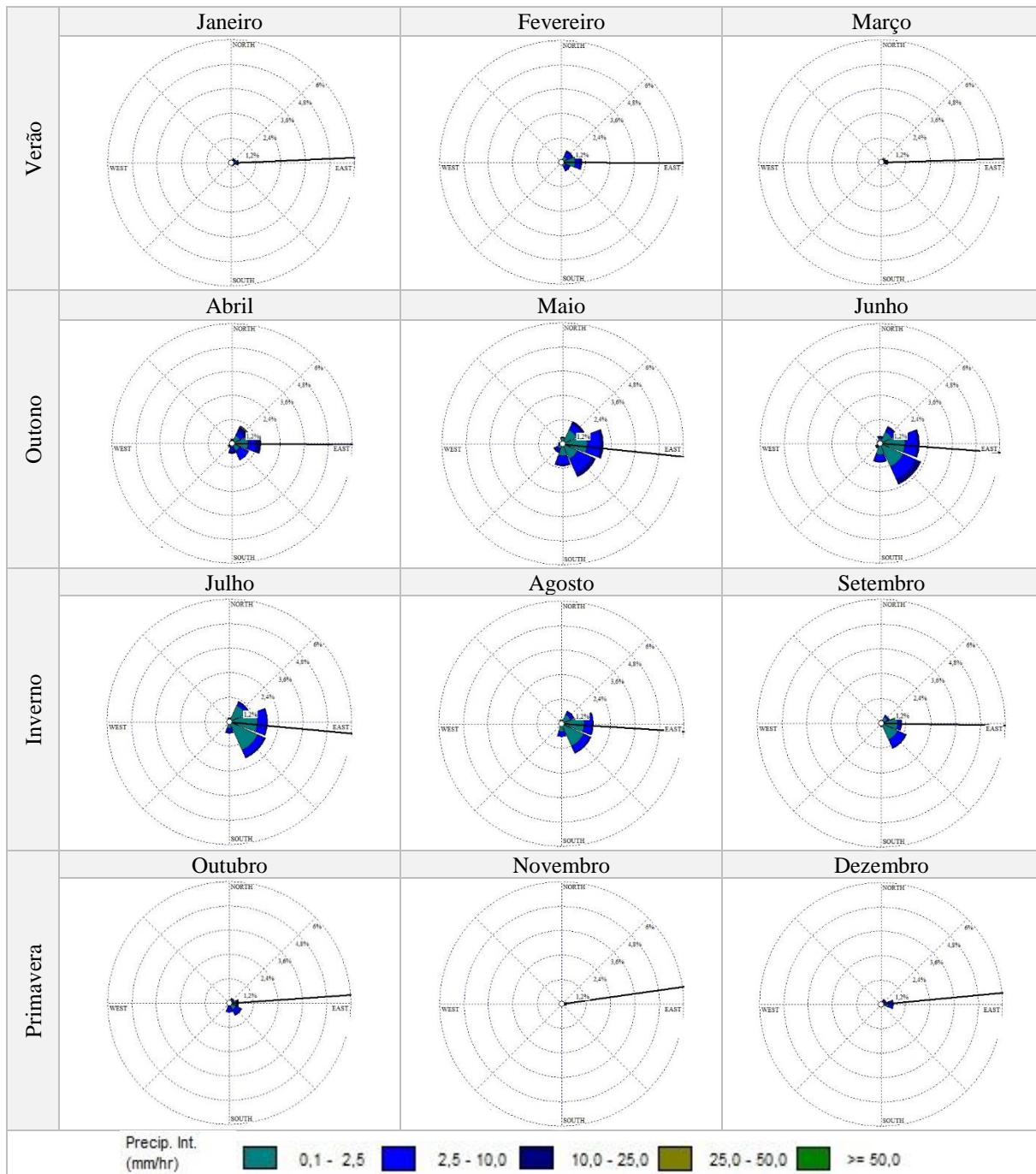
Gráfico 19 – Rosa de chuva com média anual de totais pluviométricos e direção das chuvas em Palmeira dos Índios



Fonte: Elaborado pela autora

A análise mensal por meio das rosas de chuvas conformou que os meses mais chuvosos são os das estações outono e inverno e mostrou que a direção predominante e a secundária durante este período alterna entre a leste e a sudeste, como visto no Quadro 26.

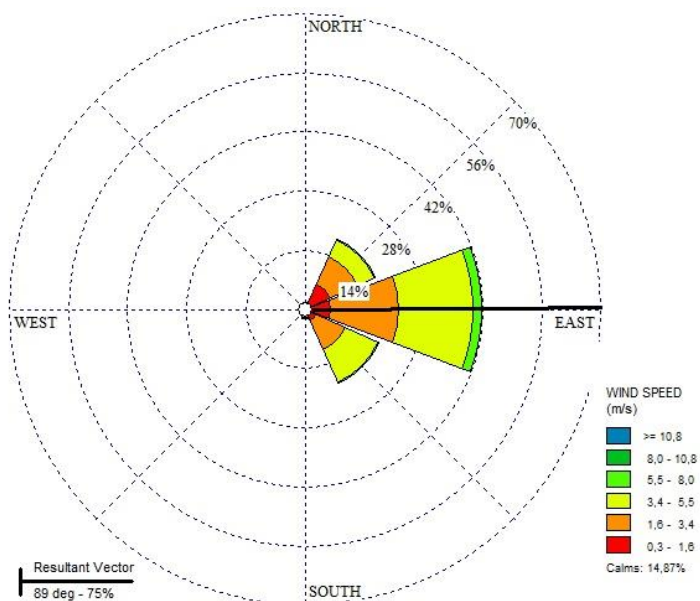
Quadro 26 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Palmeira dos Índios



Fonte: Elaborado pela autora

A rosa dos ventos referente a Palmeira dos Índios, vista no Gráfico 20, revelou que a direção predominante de incidência dos ventos na cidade é a leste, seguida das direções sudeste e nordeste, respectivamente. A frequência da velocidade dos ventos foi maior entre a faixa de 1,6 a 3,4m/s (fraco) e de 3,4 a 5,5m/s (bonançoso). O período de calmaria correspondeu a 14,87% do período estudado, enquanto os ventos entre 0,3 a 1,6m/s (aragem) ocorreram em 18,9% do período.

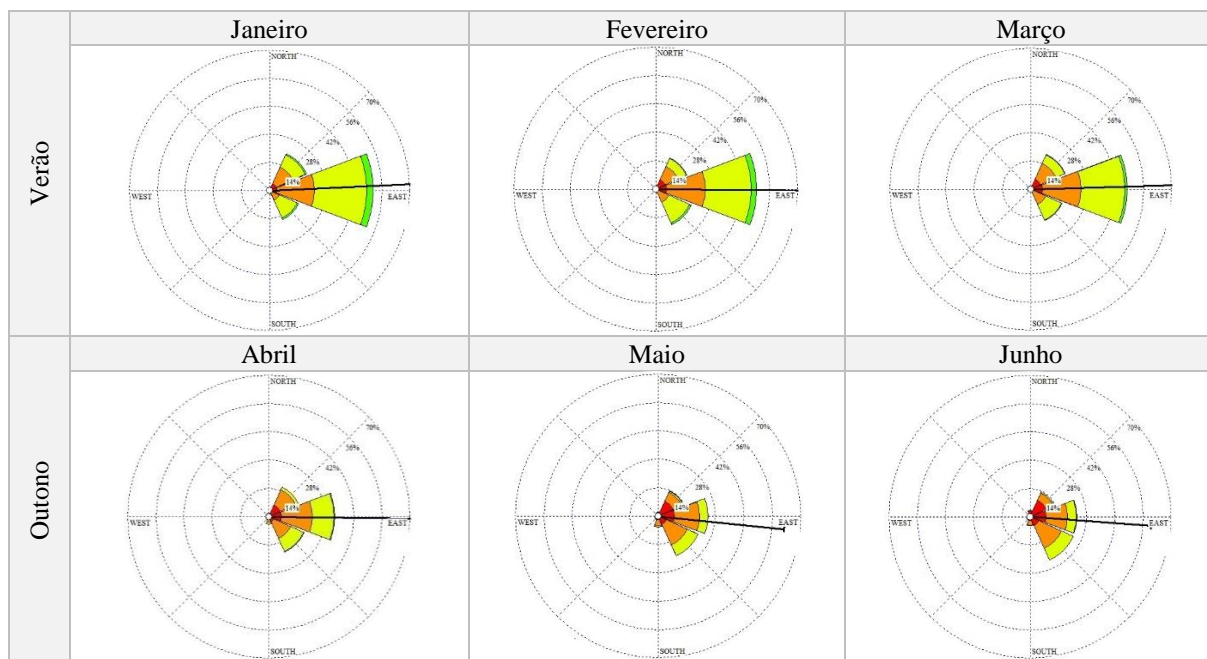
Gráfico 20 – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Palmeira dos Índios



Fonte: Elaborado pela autora

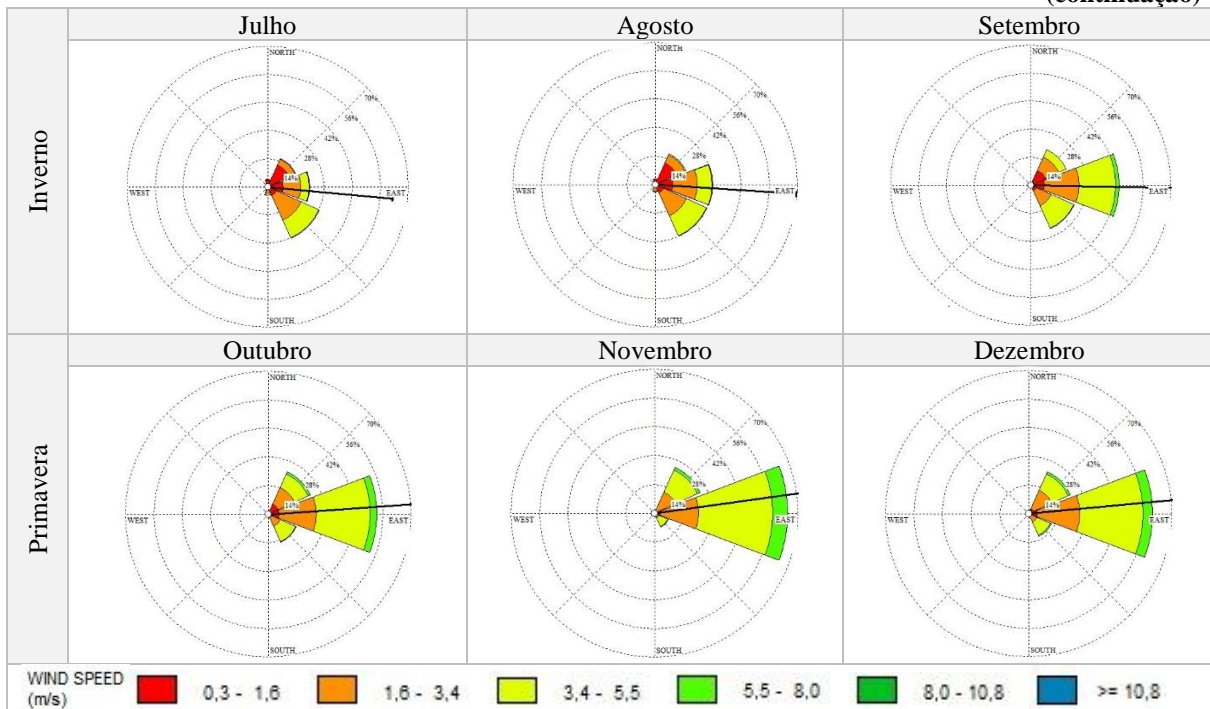
As rosas do vento mensais de Palmeira dos Índios, exibidas no Quadro 27, mostraram que, de setembro a abril (período seco), a direção predominante foi a leste com a secundária variando entre a sudeste e a nordeste. Nos meses de maio a agosto (período úmido), a direção predominante é a sudeste tendo a leste como secundária. Nestes meses, as velocidades da ventilação foram mais baixas.

Quadro 27 – Rosas dos ventos com média mensal de frequência e direção dos ventos em Palmeira dos Índios



(continua)

(continuação)

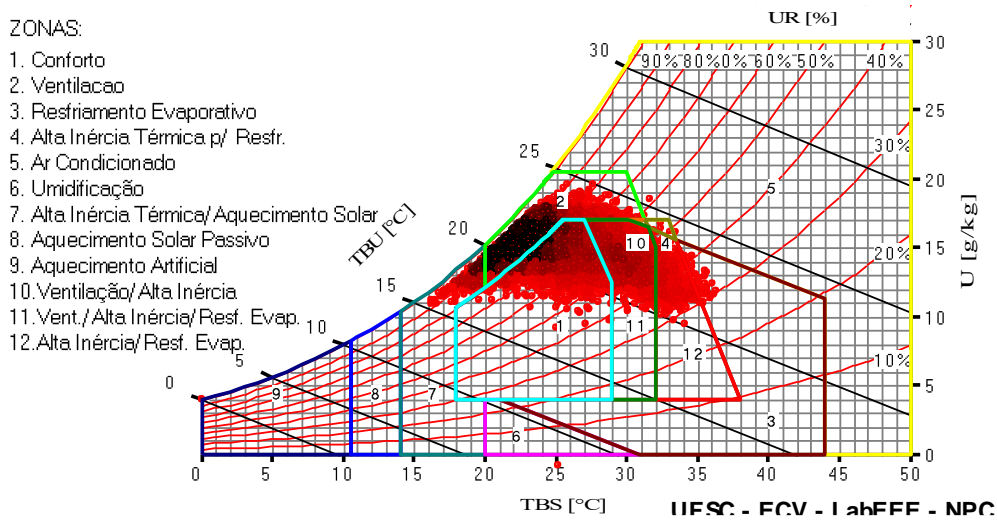


Fonte: Elaborada pela autora

5.4.2. Carta de Givoni

As recomendações bioclimáticas de acordo com a Carta de Givoni para Palmeira dos Índios foram encontradas a partir do ano de 2010, escolhido como TRY da cidade. A distribuição dos dados do TRY sobre a Carta pode ser vista na Figura 33.

Figura 33 – Carta Bioclimática de Palmeira dos Índios com dados do ano de 2010 (TRY)



O conforto térmico em Palmeira dos Índios ocorre durante 30,3% do ano, enquanto nos outros 69,7% ocorre desconforto causado por frio (4,43%) e por calor (65,2%). As estratégias recomendadas pela Carta são apontadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Palmeira dos Índios-AL

Estratégia		Período	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Ano
		Conforto	41,1%	32,5%	13,7%	34,2%	30,3%
Desconforto	Calor	<i>Sombreamento</i>	98,3%	100,0%	100,0%	84,0%	95,5%
		<i>Ventilação</i>	51,5%	55,6%	85,0%	49,9%	60,6%
		<i>Alta Inércia p/ Resfriamento</i>	27,0%	32,7%	19,0%	0,5%	19,7%
		<i>Resfriamento Evaporativo</i>	27,0%	34,5%	18,8%	0,5%	20,1%
		<i>Ar Condicionado</i>	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
	Frio	<i>Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar</i>	1,7%	0,0%	0,0%	15,9%	4,4%

Fonte: Elaborada pela autora

Embora o sombreamento e a ventilação sejam as estratégias apontadas como indispensáveis para a obtenção de conforto térmico em Palmeira dos Índios. Nesta cidade, a ventilação é necessária em apenas 60% do ano e em aproximadamente 50% das horas da primavera, verão e inverno, devido à combinação de temperaturas altas e umidade relativa mais baixa. A alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo são parcialmente necessárias principalmente no período mais seco a fim de diminuir as amplitudes térmicas. Na primavera, o período de conforto é de 41,1% e, no verão, o período de conforto é de 32,5%.

Em Palmeira dos Índios, o outono volta a ser a estação mais desconfortável (conforto em apenas 13,7% do período), por isso a maior necessidade de ventilação. Já no inverno, período com conforto de 34,2%, a combinação da alta inércia térmica para aquecimento com o aquecimento solar pode ser necessária nos horários mais frios.

5.4.3. Método de Mahoney Nebuloso

A partir dos dados climáticos de Palmeira dos Índios foi possível diagnosticar algumas particularidades do clima da cidade. A Tabela 21 mostra que as temperaturas médias do ar se comportaram de maneira a serem consideradas altas em todos os meses do ano (grau de pertinência alto para o conjunto nebuloso “ TM_{alta} ”). Já as amplitudes térmicas mensais tenderam a ser caracterizadas pequenas de abril a setembro, embora a característica tenha se mostrado melhor definida de maio a julho (grau de pertinência superior a 0,60 para o conjunto nebuloso “ $AT_{pequena}$ ”).

Tabela 21 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) – Palmeira dos Índios

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (°C)	26,70	26,60	27,10	26,10	24,60	23,20	22,10	22,40	23,40	25,00	26,20	26,70
μ_{TMAlta}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,92	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00
$\mu_{TMMédia}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{TMBaixa}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AT (°C)	10,80	10,40	10,50	9,20	7,60	7,10	7,10	8,20	9,20	10,10	11,10	11,10
$\mu_{ATGrande}$	0,52	0,51	0,51	0,46	0,38	0,35	0,36	0,41	0,46	0,50	0,53	0,53
$\mu_{ATPequena}$	0,48	0,49	0,49	0,54	0,62	0,65	0,64	0,59	0,54	0,50	0,47	0,47
URM (%)	63,40	65,80	64,70	71,30	78,10	80,50	81,50	75,90	73,20	69,30	64,50	63,50
$\mu_{URMSeco}$	0,57	0,54	0,55	0,45	0,18	0,10	0,09	0,26	0,37	0,51	0,55	0,57
$\mu_{URMúmido}$	0,43	0,46	0,45	0,55	0,82	0,90	0,91	0,74	0,63	0,49	0,45	0,44
PL Média (mm)	22,40	34,60	22,80	105,10	107,90	104,00	67,50	63,90	37,90	37,10	10,50	29,50
μ_{PLAlta}	0,06	0,09	0,06	0,26	0,27	0,26	0,17	0,16	0,09	0,09	0,03	0,07

Fonte: Elaborada pela autora

A Tabela 21 também mostra que a umidade relativa de Palmeira dos Índios é alta de modo a tornar o clima úmido de maio a agosto (graus de pertinência acima de 0,70 para o conjunto nebuloso “URM_{úmido}”). Por outro lado, nos demais meses, esta característica não é tão bem definida ao ponto de o clima ser considerado seco especialmente nos meses de janeiro e dezembro (graus de pertinência iguais a 0,57 para o conjunto nebuloso “URM_{seco}”). A pluviosidade da cidade não foi considerada alta em nenhum mês (graus de pertinência abaixo de 0,3 para o conjunto nebuloso “PL_{alta}”).

A análise do rigor térmico em Palmeira dos Índios evidenciou que os dias na cidade são essencialmente quentes (graus de pertinência acima de 0,7 para o conjunto nebuloso “RT_{dia- quente}”), apresentando os menores valores nos meses de junho a setembro, como observado na Tabela 22. As noites foram consideradas confortáveis por quase todo o ano (graus de pertinência maiores para o conjunto nebuloso “RT_{noite-confortável}”), à exceção de julho, agosto e setembro onde houve tendência ligeiramente maior para as noites serem consideradas frias (conjunto nebuloso “RT_{noite-frio}”).

Tabela 22 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) – Palmeira dos Índios

RT_{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\mu_{RTdia - Frio}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RTdia - Confortável}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,37	0,27	0,03	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RTdia - Quente}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,63	0,73	0,97	1,00	1,00	1,00
RT_{noite}												
$\mu_{RTnoite - Frio}$	0,07	0,07	0,00	0,04	0,15	0,36	0,33	0,39	0,52	0,32	0,19	0,09
$\mu_{RTnoite - Confortável}$	0,93	0,93	1,00	0,96	0,85	0,64	0,67	0,61	0,48	0,68	0,81	0,91
$\mu_{RTnoite - Quente}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Em posse das informações sobre o rigor térmico diurno e noturno de Palmeira dos Índios, foi realizada a verificação da frequência mensal e anual dos indicadores climáticos, como visto na Tabela 23. O indicador climático mais frequente, tanto no total anual, quanto em cada um dos meses do ano, foi o de aridez A2. Este indicador é definido pela possibilidade de se dormir ao ar livre. O segundo indicador mais frequente foi o H1, presente principalmente nos meses de maio a agosto, e que alega a necessidade de movimentação do ar.

Tabela 23 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) – Palmeira dos Índios

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}	0,48	0,49	0,49	0,55	0,82	0,77	0,63	0,73	0,63	0,50	0,47	0,47	7,03
μ_{H2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,37	0,27	0,03	0,00	0,00	0,00	0,90
μ_{H3}	0,06	0,09	0,06	0,26	0,27	0,26	0,17	0,16	0,09	0,09	0,03	0,07	1,61
μ_{A1}	0,52	0,51	0,51	0,45	0,18	0,10	0,09	0,26	0,37	0,50	0,53	0,53	4,55
μ_{A2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,67	0,73	0,97	1,00	1,00	1,00	11,14
μ_{A3}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

A frequência anual de cada indicador climático permitiu a modelagem (ver Apêndice D) e a obtenção das estratégias projetuais bioclimáticas (R) indicadas para Palmeira dos Índios segundo o MMN, conforme destacadas no Quadro 28.

Quadro 28 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) – Palmeira dos Índios

Pertinência	Recomendação	
Traçado		
1,00	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
Espaçamento		
0,00	R3	Espaço aberto para penetração de brisa
1,00	R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0,00	R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
Movimento do ar		
1,00	R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	R8	Não é necessário o movimento do ar
Aberturas		
0,00	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
1,00	R11	Aberturas medianas, 20-40%
Paredes		
0,00	R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
1,00	R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
Coberturas		
1,00	R14	Coberturas isoladas leves
0,00	R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica

(continua)

(continuação)

Espaço para dormir ao ar livre		
1,00	R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
Proteção contra chuvas pesadas		
0,00	R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Elaborado pela autora

5.4.4. Discussão das estratégias bioclimáticas

As estratégias bioclimáticas recomendadas para Palmeira dos Índios pelo ZBB, pelo método de Givoni e pelo Mahoney Nebuloso, respectivamente, podem ser vistas no Quadro 29.

Quadro 29 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Palmeira dos Índios

Métodos	NBR 15220-3 (ZB-8)	Givoni	MMN
Diretrizes	Sombrear aberturas	Sombreamento durante todo o ano	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
	Ventilação cruzada permanente	Ventilação durante todo o ano, principalmente no outono	Espaço aberto para penetração de brisa, porém com proteção contra o vento frio/quente Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
	Aberturas para ventilação grandes (AZBB>40%)	-	Aberturas medianas (AMMN=20-40%)
	Parede leve refletora	Alta inércia para resfriamento em dias mais quentes da primavera e verão	Paredes pesadas; interiores e exteriores
	Cobertura leve refletora	-	Coberturas isoladas leves
	-	Resfriamento evaporativo em dias mais quentes da primavera e verão	-
	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	Ar condicionado em dias mais quentes do outono	-
	-	-	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	-	-	Não há necessidade de proteção contra chuva intensa
-	Alta inércia/Aquec. solar em noites mais frias do inverno e primavera	-	

Fonte: Elaborado pela autora

Em Palmeira dos Índios, a medida mais eficaz para minimizar o desconforto térmico por calor é o sombreamento da edificação, pois a aplicação de sombreamento é recomendada quando a temperatura do ar for superior a 20°C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Este deve considerar o aproveitamento da iluminação natural e dos ventos dentro da edificação. Por ser altamente recomendada ao longo de todo o ano, a estratégia pode ser implementada de forma permanente, contanto que por meio de mecanismos bem dimensionados com o uso da carta solar do local. Quanto a sua implantação, o MMN recomenda que seja disposta no eixo N/S (eixo longitudinal L/O) a fim de diminuir a exposição ao sol.

A segunda estratégia mais importante para a promoção do conforto térmico em Palmeira dos Índios é a ventilação cruzada, bastante recomendada por todo o ano, embora com maior intensidade durante os meses de outono. Para que esta técnica funcione de maneira adequada, é necessário que haja aberturas em fachadas opostas. Deve-se priorizar as fachadas leste, sudeste e noroeste por serem as que recebem os ventos dominantes, além de dar preferência a plantas desobstruídas que admitam a movimentação do ar dentro da edificação. O espaçamento entre as edificações também é fundamental para a penetração de ventos nos ambientes. Nos períodos de calmaria, é possível promover o movimento do ar dentro da edificação por meio de ventilação mecânica, principalmente nos meses de outono.

Uma vez que não é recomendado o uso de ventilação quando a temperatura for superior a 32°C (GIVONI, 1997) e sabendo que a estratégia não é altamente indicada em alguns meses, é imperativo que as esquadrias permitam a ventilação seletiva. Embora o Zoneamento Bioclimático aconselhe o uso de aberturas grandes para a ventilação, o MMN indica que as mesmas devem ser medianas em Palmeira dos Índios, isto é, área de abertura entre 20 a 40% da área da parede.

Também houve contradição quanto ao teor da inércia térmica das edificações em Palmeira dos Índios pelas metodologias estudadas. Enquanto o ZBB recomendou o uso de baixa inércia nas envoltórias, o método de Givoni apontou a necessidade do uso da estratégia em períodos específicos do ano e o MMN propôs o uso de paredes pesadas. Sabendo que, quando a temperatura externa diurna é superior a 36°C e a noturna se mantém acima dos 20°C, a estrutura da edificação não seria suficientemente resfriada durante a noite (GIVONI, 1997), e que as temperaturas médias mínimas da cidade se mantiveram acima dos 20°C nos meses mais quentes (Gráfico 16), o uso da alta inércia em paredes deve ser planejado cuidadosamente. As coberturas devem ser leves, refletoras e isoladas.

O resfriamento evaporativo foi apontado como solução bioclimática principalmente durante a primavera, verão e outono, embora de maneira discreta. Como a cidade apresenta dias mais secos durante este período (Tabela 21), a estratégia deve ser aplicada de modo ajustável aos dias que se apresentarem nesta situação (baixa umidade relativa do ar), seja pela umidificação de superfícies, seja pelo uso de vegetação.

Para o período noturno, a estratégia recomendada é a previsão de espaços para dormir ao ar livre. Isso se deve ao fato de as noites serem consideradas confortáveis durante a maioria do ano na cidade (Tabela 22). Por questões de segurança, a medida pode ser entendida como a

necessidade de ventilação natural noturna, o que permitiria a substituição do ar quente do dia pelo ar brando noturno como ocorre no ambiente externo.

Em alguns poucos dias do ano, pode ser necessário o uso de ar condicionado devido ao calor. Se o usuário optar pelo uso do aparelho, deve examinar a eficiência energética do mesmo, bem como cuidar para que o ambiente a ser climatizado seja bem vedado. Da mesma forma, em alguns poucos dias do ano, pode haver desconforto por frio, minimizado pelo uso de alta inércia associada ao aquecimento solar. Por ser uma estratégia com baixa demanda, é aconselhável o emprego de aquecimento dos ambientes por mecanismos flexíveis.

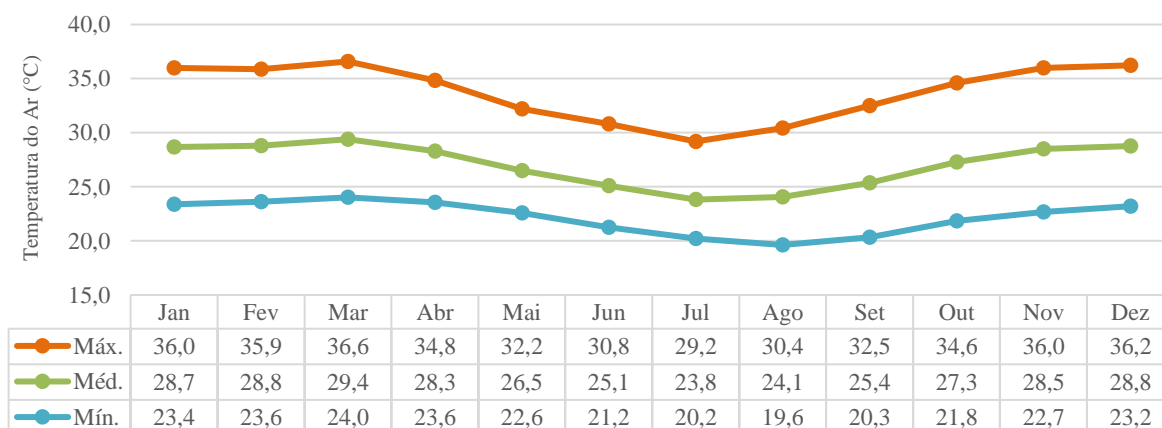
5.5. Pão de Açúcar

A primeira parte dos resultados referentes a Pão de Açúcar correspondeu à análise climática da cidade com base nos dados obtidos para este estudo, abordando as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação e vento. A segunda parte tratou das recomendações bioclimáticas segundo o método de Givoni (1992). Já a terceira parte expôs as sugestões construtivas de acordo com Mahoney Nebuloso (1999).

5.5.1. Análise climática da série histórica

A cidade de Pão de Açúcar foi a que apresentou maiores valores de temperatura média do ar entre todas as cidades estudadas. As temperaturas médias oscilaram entre 23,8°C e 29,4°C, sendo que a maior máxima média foi de 36,6°C e a menor mínima média foi de 19,6°C. No Gráfico 21, é possível ver que o período que vai de maio a setembro (outono e inverno) apresentam temperaturas mais amenas, enquanto que, de meados de outubro a abril (primavera e verão), os valores são mais altos.

Gráfico 21 – Temperatura média mensal do ar de Pão de Açúcar

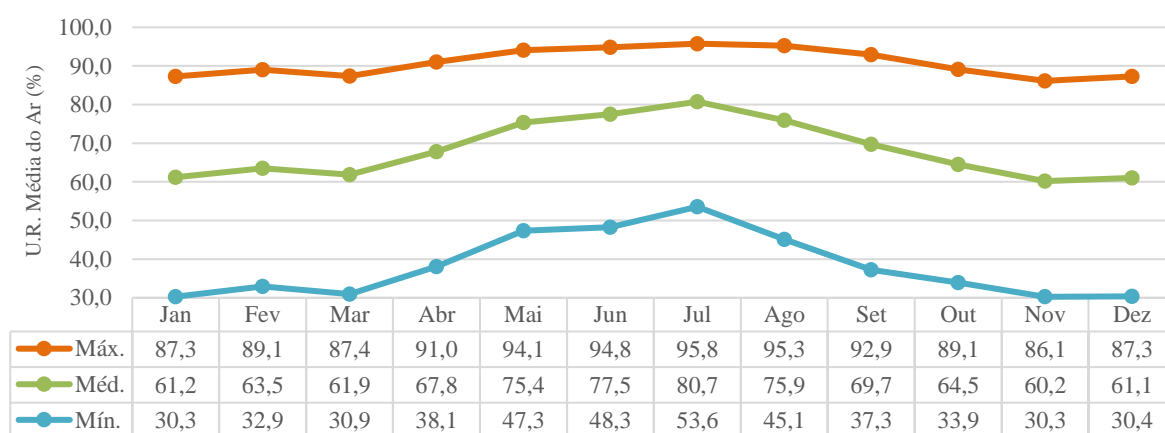


Fonte: Elaborado pela autora

Além das maiores temperaturas entre as cidades estudadas, Pão de Açúcar também apresentou as maiores amplitudes térmicas do ar. Em média, apenas os meses de maio, junho e julho (período úmido) apresentaram valores inferiores a 10°C, sendo julho o de menor amplitude média (9°C). Os meses de agosto a abril apresentaram variações térmicas médias acima de 10°C, sendo outubro o mês com maior amplitude média 12,8°C.

Quanto à umidade relativa do ar, Pão de Açúcar apresentou os menores valores médios entre todas as cidades estudadas nesta pesquisa, variando entre 60% nos meses mais secos e 80% nos mais úmidos, como observado no Gráfico 22. Os valores de umidade relativa máxima média ficaram próximos dos 90% ao longo de todo o ano. Já os de mínima média apresentaram maior variação, ficando acima dos 40% nos meses mais úmidos (maio a agosto) e próximo dos 30% nos meses mais secos (setembro a abril).

Gráfico 22 – Umidade relativa média mensal do ar de Pão de Açúcar

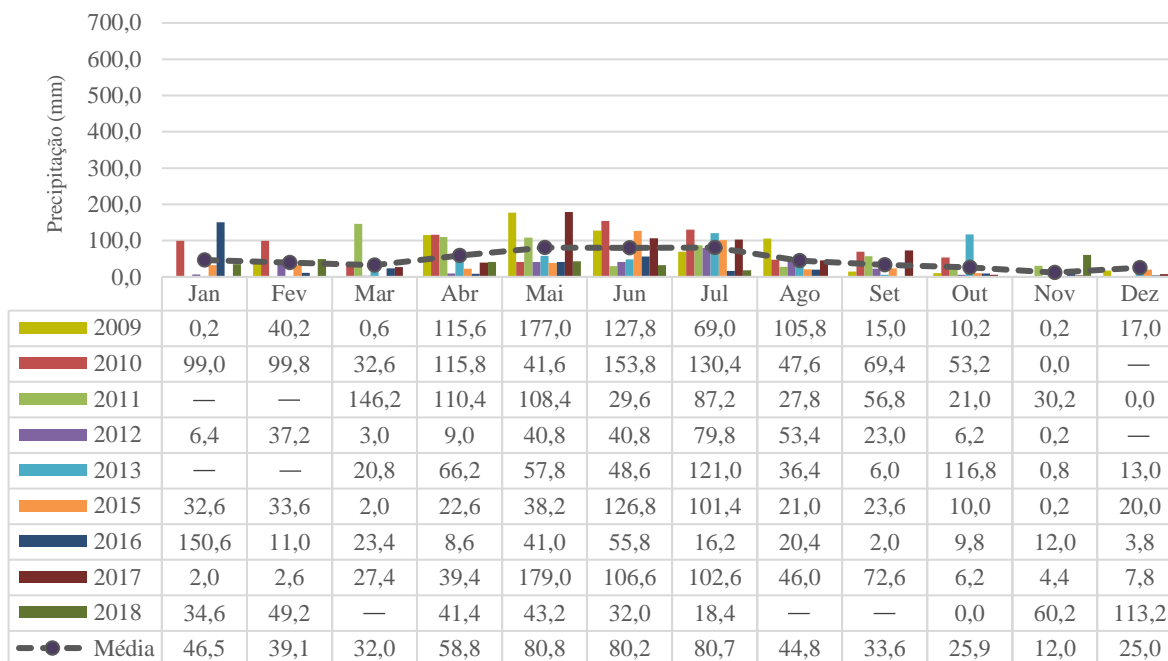


Fonte: Elaborado pela autora

Pão de Açúcar foi a cidade com menores valores de precipitação dentre as seis estudadas. Os totais pluviométricos anuais variaram entre 354,6mm, registrado em 2016, e 678,6mm, registrado em 2009⁴². Os meses mais chuvosos foram maio, junho e julho, com totais pluviométricos médios mensais acima de 80mm. Os demais meses apresentaram médias mensais próximas ou abaixo dos 50mm, como visto no Gráfico 23. O total pluviométrico médio anual encontrado foi de 522,4mm.

⁴² Considerando apenas os anos com todos os valores totais mensais disponíveis.

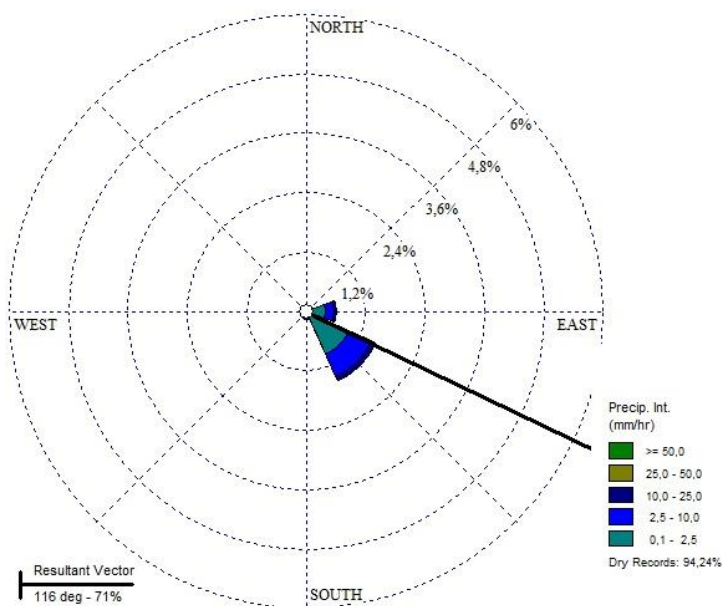
Gráfico 23 – Precipitação média mensal de Pão de Açúcar



Fonte: Elaborado pela autora

A rosa de chuvas de Pão de Açúcar revelou que a incidência de ventilação na cidade apresenta um padrão bem definido, como mostrado no Gráfico 24. A direção dos ventos predominantes é a sudeste enquanto a secundária é leste. A frequência das chuvas foi maior entre as intensidades de 0,1 e 2,5mm/h seguida de 2,5 a 10mm/h, caracterizadas como chuvisco e chuvas fracas (LEITE; ADACHESKI; VIRGENS FILHO, 2011), respectivamente.

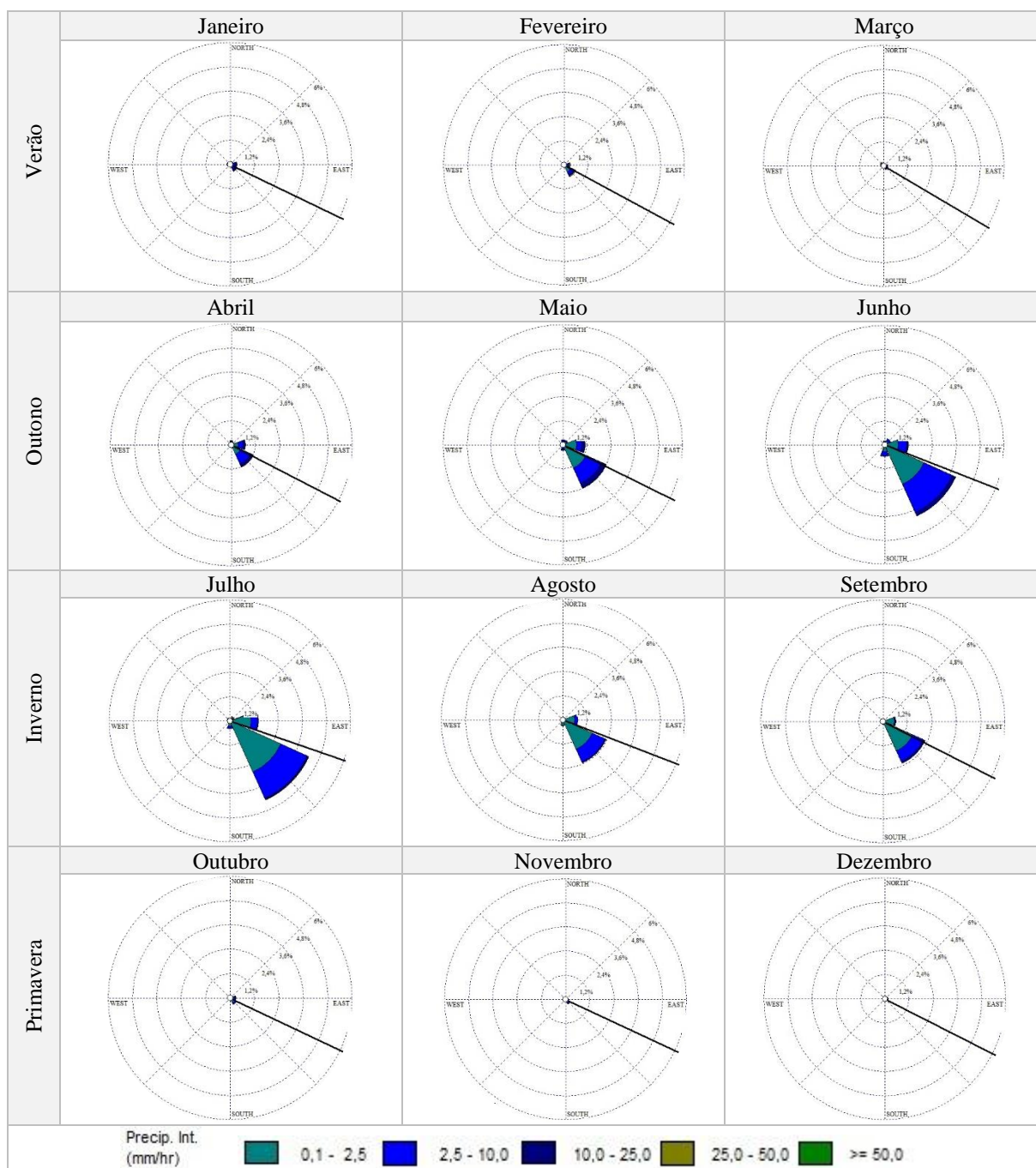
Gráfico 24 – Rosa de chuva com média anual de totais pluviométricos e direção das chuvas em Pão de Açúcar



Fonte: Elaborado pela autora

As rosas de chuvas mensais, vistas no Quadro 30, evidenciaram que os meses mais chuvosos são os pertencentes às estações de outono e inverno, assim como que a direção predominante de incidência das chuvas é a sudeste e a secundária é a sudeste para todos os meses deste período.

Quadro 30 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em Pão de Açúcar

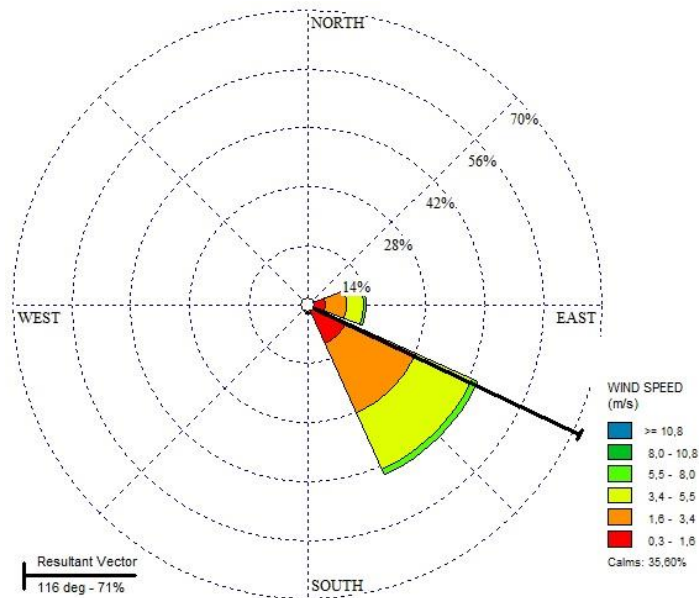


Fonte: Elaborado pela autora

A rosa dos ventos de Pão de Açúcar, visível no Gráfico 25, mostra que a direção dos ventos na cidade também se apresenta de maneira bem definida, sendo os ventos predominantes

originários do sudeste e os secundários, do leste. Um fato a ser destacado é que Pão de Açúcar apresentou o maior período de calmarias entre as cidades estudadas, correspondente a 35,6% do ano. Quando disponível, a ventilação ocorre principalmente entre as velocidades de 1,6 a 3,4m/s (fraco) e de 3,4 a 5,5m/s (bonançoso), respectivamente.

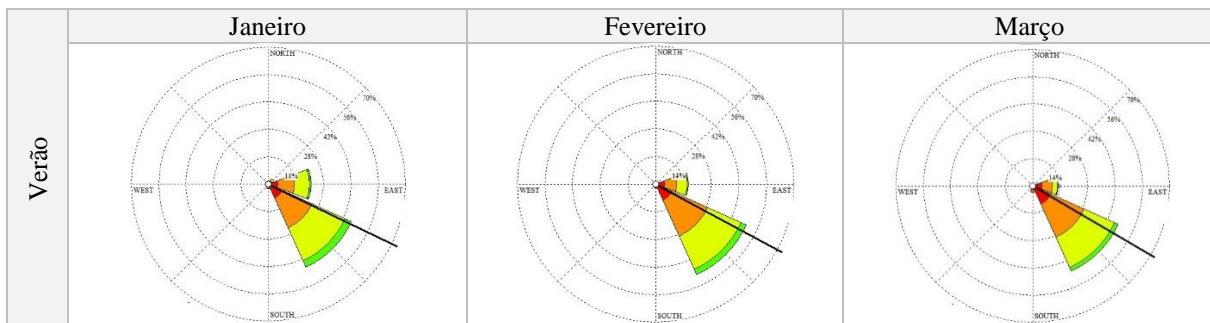
Gráfico 25 – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em Pão de Açúcar



Fonte: Elaborado pela autora

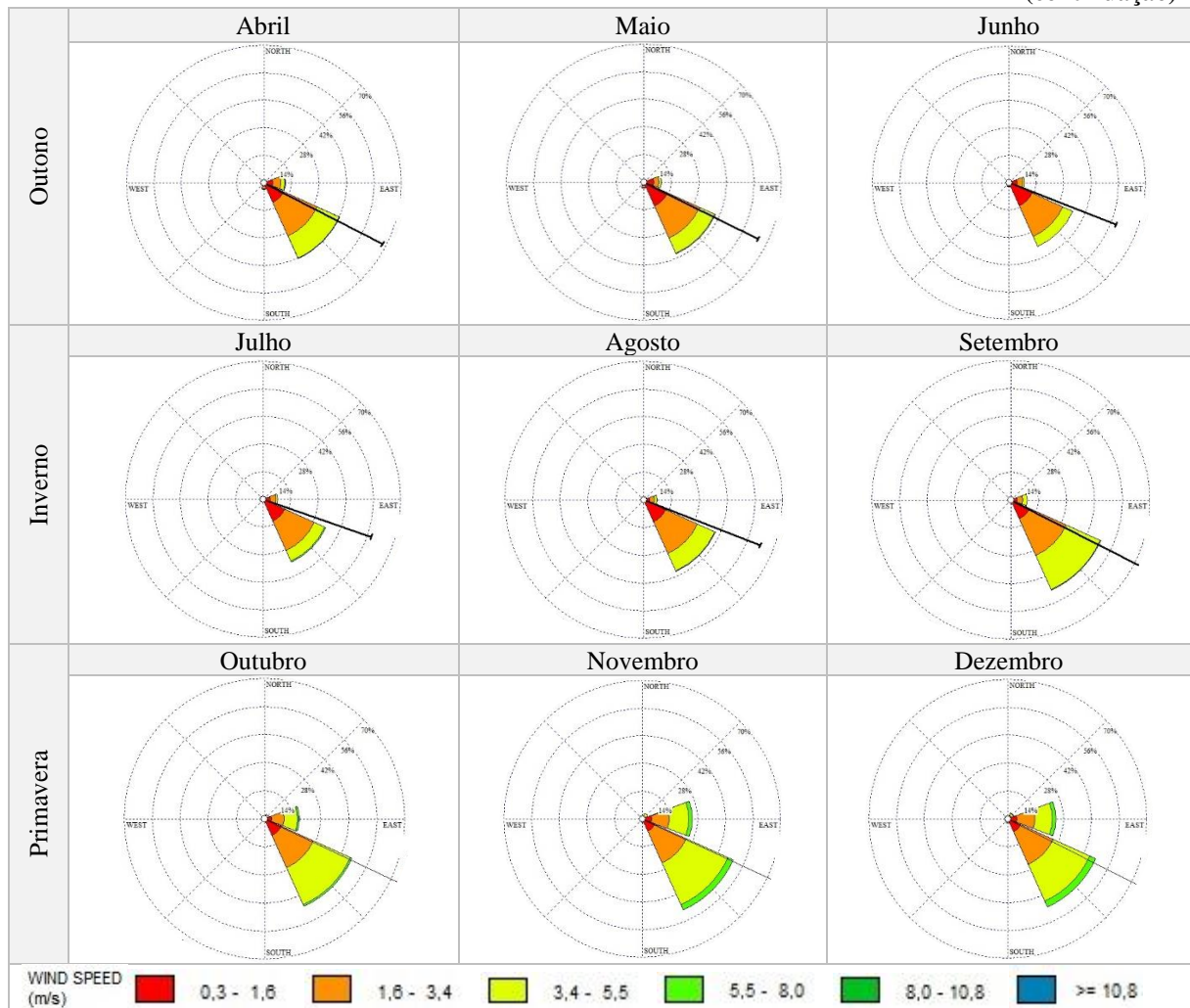
No Quadro 31, as rosas do vento mensais da cidade mostram que as direções predominante e secundária se mantem as mesmas durante todos os meses do ano. Durante o período úmido (outono e inverno), as velocidades tenderam a ser mais baixas bem como os maiores períodos de calmaria, ultrapassando os 50% em alguns meses.

Quadro 31 – Rosas dos ventos com média mensal de frequência e direção dos ventos em Pão de Açúcar



(continua)

(continuação)

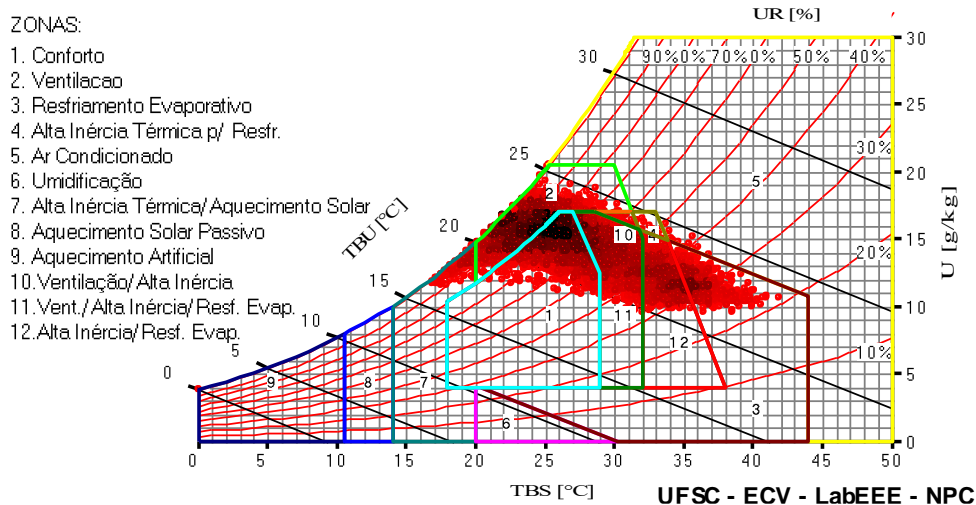


Fonte: Elaborado pela autora

5.5.2. Carta de Givoni

A análise segundo a Carta de Givoni para a cidade de Pão de Açúcar foi feita a partir dos dados do TRY da cidade, ou seja, o ano de 2015. A Carta gerada pelo programa *Analysis BIO* com a distribuição dos dados do TRY sobre a mesma pode ser vista na Figura 34.

Figura 34 – Carta Bioclimática de Pão de Açúcar com dados do ano de 2015 (TRY)



Pão de Açúcar está em situação de conforto térmico durante 30,4% do ano e em desconforto durante 69,6%, sendo 1,93% gerado por frio e 67,6% causado por calor. As principais estratégias sugeridas pela Carta para a cidade são expostas na Tabela 24.

Tabela 24 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para Pão de Açúcar-AL

Estratégia		Período	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Ano
Conforto			37,5%	32,1%	22,9%	29,1%	30,4%
Desconforto	Calor	Sombreamento	99,9%	100,0%	99,7%	92,8%	98,1%
		Ventilação	33,3%	40,3%	56,5%	58,8%	47,3%
		Alta Inércia p/ Resfriamento	34,5%	39,4%	36,6%	17,6%	32,0%
		Resfriamento Evaporativo	46,2%	49,9%	44,7%	17,7%	39,5%
		Ar Condicionado	0,1%	0,0%	0,4%	0,0%	0,1%
	Frio	Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar	0,1%	0,0%	0,3%	7,3%	1,9%

Fonte: Elaborada pela autora

Embora o sombreamento e a ventilação sejam as estratégias mais recomendadas ao longo do ano, a aplicação da ventilação é apropriada em menos da metade do ano (47,3%) devido à baixa umidade relativa do ar. Além disso, no período seco (primavera/verão), a principal medida a ser aplicada é o resfriamento evaporativo de modo a aumentar as taxas de umidade relativa do ar e diminuir as amplitudes térmicas na cidade. Só então são sugeridas a ventilação e a alta inércia para resfriamento praticamente com os mesmos percentuais entre si.

Apesar de possuir os maiores valores médios de temperatura e de amplitude térmica durante a primavera e o verão, os percentuais de conforto nestas estações foram maiores que os registrados no período de outono e inverno (37,5% e 32,1% contra 22,9% e 29,1%,

respectivamente), uma vez que a temperaturas em parte do outono e inverno continuam elevadas e a umidade relativa do ar aumenta. No período das chuvas (outono/inverno), a ventilação volta a ser a segunda estratégia mais eficaz na busca pelo conforto na cidade.

5.5.3. Método de Mahoney Nebuloso

O processo de análise dos resultados obtidos para Pão de Açúcar por meio do Método de Mahoney Nebuloso evidenciou algumas das características climáticas da cidade, vistas na Tabela 25. A temperatura média da cidade foi considerada alta em todos os meses do ano, uma vez que os graus de pertinência mensais foram sempre máximos (1,00) para o conjunto nebuloso “ TM_{alta} ”. Já a amplitude térmica, apresentou maior disposição para a característica pequena durante os meses de maio a julho, enquanto, nos demais meses, a variável passa a ser considerada grande, embora, para ambas as características, os graus de pertinência tenham sido semelhantes (próximos a 0,50).

Tabela 25 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) – Pão de Açúcar

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (°C)	28,70	28,80	29,40	28,30	26,50	25,10	23,80	24,10	25,40	27,30	28,50	28,80
$\mu_{TM_{Alta}}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\mu_{TM_{Média}}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{TM_{Baixa}}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AT (°C)	12,60	12,30	12,60	11,20	9,60	9,60	9,00	10,80	12,20	12,80	13,30	13,00
$\mu_{AT_{Grande}}$	0,57	0,56	0,57	0,53	0,48	0,48	0,45	0,52	0,55	0,57	0,58	0,58
$\mu_{AT_{Pequena}}$	0,44	0,44	0,44	0,47	0,52	0,52	0,55	0,48	0,45	0,43	0,42	0,42
URM (%)	61,20	63,50	61,90	67,80	75,40	77,50	80,70	75,90	69,70	64,50	60,20	61,10
$\mu_{URM_{Seco}}$	0,59	0,57	0,58	0,52	0,28	0,20	0,10	0,26	0,50	0,55	0,60	0,59
$\mu_{URM_{Úmido}}$	0,41	0,44	0,42	0,48	0,72	0,80	0,90	0,74	0,50	0,45	0,40	0,41
PL Média (mm)	46,50	39,10	32,00	58,80	80,80	80,20	80,70	44,80	33,60	25,90	12,00	25,00
$\mu_{PL_{Alta}}$	0,12	0,10	0,08	0,15	0,20	0,20	0,20	0,11	0,08	0,06	0,03	0,06

Fonte: Elaborada pela autora

Ainda na Tabela 25, a umidade relativa do ar também apresentou variação ao longo do ano. Entre maio e agosto, o comportamento da URM permitiu caracterizar o clima como úmido (graus de pertinência acima de 0,70 para o conjunto nebuloso “ $URM_{úmido}$ ”), enquanto, nos demais meses, a UMR foi mais peculiar a um clima seco (graus de pertinência maiores para o conjunto nebuloso “ URM_{seco} ”). A pluviosidade não se apresentou de maneira a ser considerada alta (graus de pertinência abaixo de 0,30 para o conjunto nebuloso “ PL_{alta} ”).

A definição do rigor térmico diurno e noturno em Pão de Açúcar, exibida na Tabela 26, revelou que os dias na cidade são quentes em qualquer mês do ano (graus de pertinência

máximos para o conjunto nebuloso “ $RT_{\text{dia- quente}}$ ”). Já as noites da cidade se mostraram confortáveis na maioria dos meses do ano (graus de pertinência maiores para o conjunto nebuloso “ $RT_{\text{noite- confortável}}$ ”). Apenas durante o mês de agosto as noites têm maior disposição para serem consideradas frias (graus de pertinência maior para o conjunto nebuloso “ $RT_{\text{noite- frio}}$ ”).

Tabela 26 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) – Pão de Açúcar

RT_{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\mu_{RT_{\text{dia}} - \text{Frio}}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RT_{\text{dia}} - \text{Confortável}}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\mu_{RT_{\text{dia}} - \text{Quente}}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RT_{noite}												
$\mu_{RT_{\text{noite}} - \text{Frio}}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,38	0,52	0,41	0,14	0,00	0,00
$\mu_{RT_{\text{noite}} - \text{Confortável}}$	0,88	0,84	0,78	0,84	0,97	0,79	0,62	0,48	0,59	0,86	0,99	0,91
$\mu_{RT_{\text{noite}} - \text{Quente}}$	0,12	0,16	0,22	0,16	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09

Fonte: Elaborada pela autora

A Tabela 27 apresenta as frequências mensais e anual dos indicadores climáticos de umidade e aridez identificadas para Pão de Açúcar. É possível notar que o indicador mais presente é o de aridez A2, cuja peculiaridade é a possibilidade de se dormir ao ar livre. Este indicador foi altamente recomendado em todos os meses do ano, com graus de pertinência acima de 0,80. Já o segundo indicador mais frequente é o de umidade H1, definido pela necessidade de movimentação do ar. Este indicador é mais frequente nos meses de maio a agosto, com graus de pertinência superiores a 0,70.

Tabela 27 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) – Pão de Açúcar

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}	0,44	0,44	0,44	0,48	0,72	0,80	0,90	0,74	0,50	0,45	0,42	0,42	6,73
μ_{H2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
μ_{H3}	0,12	0,10	0,08	0,15	0,20	0,20	0,20	0,11	0,08	0,06	0,03	0,06	1,40
μ_{A1}	0,57	0,56	0,57	0,52	0,28	0,20	0,10	0,26	0,50	0,55	0,58	0,58	5,27
μ_{A2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	12,00
μ_{A3}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Sabendo a frequência anual de cada indicador climático, foi realizada a modelagem (ver Apêndice D) e a verificação das recomendações bioclimáticas (R) apontadas pelo MMN para Pão de Açúcar. Os resultados da aferição estão em destaque na Quadro 32.

Quadro 32 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) – Pão de Açúcar

Pertinência		Recomendação
Traçado		
1,00	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
Espaçamento		
0,00	R3	Espaço aberto para penetração de brisa
1,00	R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0,00	R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
Movimento do ar		
1,00	R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	R8	Não é necessário o movimento do ar
Aberturas		
0,00	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
1,00	R11	Aberturas medianas, 20-40%
Paredes		
0,00	R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
1,00	R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
Coberturas		
0,73	R14	Coberturas isoladas leves
0,27	R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
Espaço para dormir ao ar livre		
1,00	R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
Proteção contra chuvas pesadas		
0,00	R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Elaborado pela autora

5.5.4. Discussão das estratégias bioclimáticas

Em posse de todas as estratégias bioclimáticas recomendadas para Pão de Açúcar, é possível se discutir sobre a sua aplicabilidade. As sugestões dadas pelo ZBB, pela Carta de Givoni e pelo Mahoney Nebuloso podem ser observadas no Quadro 33.

Quadro 33 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para Pão de Açúcar

Métodos	NBR 15220-3 (ZB-8)	Givoni	MMN
Diretrizes	Sombrear aberturas	Sombreamento durante todo o ano	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
	Ventilação cruzada permanente	Ventilação durante todo o ano, principalmente no inverno e outono	Espaço aberto para penetração de brisa, porém com proteção contra o vento frio/quente Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
	Aberturas para ventilação grandes (AZBB>40%)	-	Aberturas medianas (AMMN=20-40%)
	Parede leve refletora	Alta inércia para resfriamento parcialmente necessária em todo o ano, principalmente na primavera, verão e outono	Paredes pesadas; interiores e exteriores
	Cobertura leve refletora		Coberturas isoladas leves

(continua)

(continuação)

Diretrizes	-	Resfriamento evaporativo parcialmente necessário em todo o ano, principalmente na primavera, verão e outono	-
	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	Ar condicionado em dias mais quentes da primavera e outono	-
	-	-	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	-	-	Não há necessidade de proteção contra chuva intensa
	-	Alta inércia/Aquec. Solar em noites mais frias do outono, inverno e primavera	-

Fonte: Elaborado pela autora

A estratégia mais importante para o aumento do conforto térmico em Pão de Açúcar é o sombreamento da edificação, já que o sombreamento é recomendado quando a temperatura do ar for maior que 20°C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013). Esta estratégia pode ser aplicada por meio de dispositivos permanentes, já que o sombreamento é fortemente recomendado durante todo o ano. Para que o sombreamento seja benéfico, deve ser pensado em conformidade com a exploração da ventilação e da luz naturais. A carta solar é a ferramenta que deve ser usada pelo projetista para se obter as melhores soluções projetuais. O MMN sugere que a edificação seja disposta no eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para que a mesma seja menos exposta à insolação.

A ventilação cruzada é uma importante medida de diminuição do desconforto por calor em Pão de Açúcar, mas é indicada de forma restrita em todo ano e deve ser empregada por meio de esquadrias que viabilizem o controle da entrada dos ventos, uma vez que o uso da ventilação em locais com temperaturas acima de 32°C provoca ganhos térmicos por convecção (GIVONI, 1997) e as máximas da cidade costumam ultrapassar este valor nos meses mais quentes (Gráfico 21). O espaçamento entre as construções deve favorecer a penetração dos ventos, as plantas das edificações devem ser fluidas e as aberturas, dispostas em fachadas opostas, devem se voltar prioritariamente para a direção sudeste. Quando a ventilação natural for insuficiente (períodos de calmaria), pode-se utilizar ventilação mecânica.

As metodologias foram divergentes quanto ao tamanho que as aberturas para ventilação devem ter. O Zoneamento Bioclimático propõe o uso de esquadrias grandes, mas o estudo pelo Mahoney Nebuloso aconselha o emprego de esquadrias medianas, ou seja, com áreas de abertura entre 20 e 40% da área da parede.

Quanto ao uso da inércia térmica para resfriamento, as metodologias estudadas também divergem. O ZBB indicou paredes e coberturas leves para a Zona 8, o MMN sugeriu o

uso de paredes pesadas e coberturas leves, e a Carta de Givoni recomendou a alta inércia ao longo de todo o ano, mas de maneira restrita. Durante a primavera e o verão, a estratégia foi apontada como tão necessária quanto a ventilação. Porém, sabe-se que quando a temperatura diurna é superior a 36°C e a noturna é superior a 20°C, a ventilação noturna não é suficiente para resfriar a estrutura da edificação (GIVONI, 1997). Pão de Açúcar apresentou temperaturas médias máximas em torno dos 36°C de novembro a março (quando a estratégia se mostra mais necessária) e temperaturas médias mínimas acima dos 20°C por praticamente todo o ano (Gráfico 21). Desta forma, a alta inércia térmica em paredes só exerceria a função de atenuante do calor se integrada com outros sistemas de resfriamento, preferencialmente em ambientes de uso diurno. A cobertura deve ser leve, refletora e isolada.

O uso do resfriamento evaporativo é quase tão essencial quanto o da ventilação em Pão de Açúcar. A estratégia pode ser necessária para a diminuição do desconforto em todo o ano, mas principalmente na primavera e no verão, quando é mais exigida que a ventilação por ser o período mais seco (Tabela 25). Uma vez que a cidade possui características climáticas secas por quase todo ano, a umidificação do ar pode ser feita por meio de vegetação e outros meios diretos de maneira ajustável à permanência necessária.

A estratégia recomendada para amenizar o desconforto por calor à noite é dormir em espaços ao ar livre, já que as noites em Pão de Açúcar são confortáveis por quase todo o ano (Tabela 26). Em termos de segurança, o artifício pode não ser funcional. Por isso, a maneira mais prática de se desfrutar dos benefícios do ar fresco noturno é permitir sua entrada na edificação.

Alguns momentos podem ser considerados muito quentes para ser mitigados pelo condicionamento passivo. Caso se opte pelo uso do ar condicionado, deve-se atentar para a eficiência energética do equipamento e para o bom vedamento do ambiente climatizado. Em outros raros momentos, pode acontecer o desconforto por frio sendo recomendado o uso de alta inércia térmica acompanhada pelo aquecimento solar. Na prática, o aquecimento dos ambientes deve ser empregado de modo que seja adaptável às variações climáticas.

5.6. São Luís do Quitunde

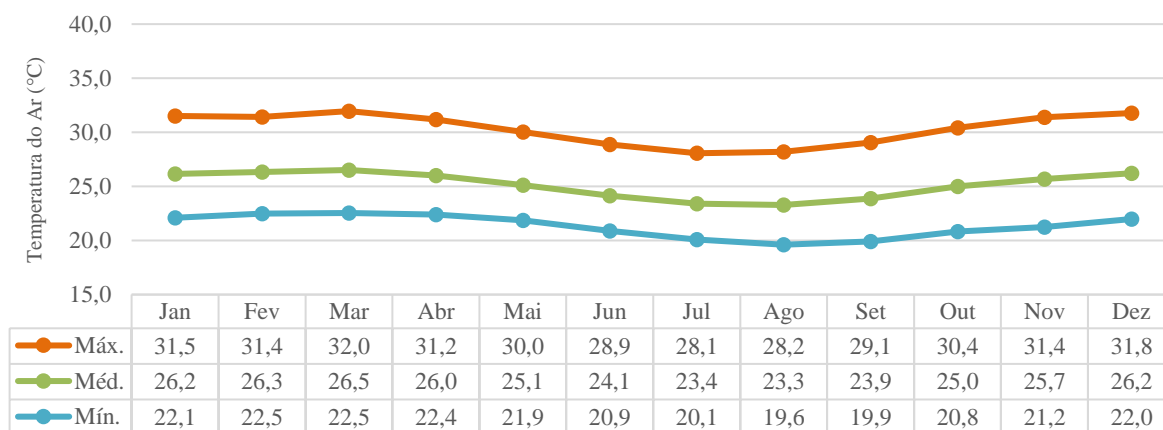
Os resultados referentes a São Luís do Quitunde também se iniciaram pelo estudo sobre o clima da cidade baseado nos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação e ventilação coletados para esta pesquisa. A segunda parte trouxe as estratégias

bioclimáticas segundo a metodologia de Givoni (1992), enquanto a terceira parte apontou as estratégias bioclimáticas recomendadas pelo Método de Mahoney Nebuloso (1999).

5.6.1. Análise climática da série histórica

A análise dos dados de temperatura do ar de São Luís do Quitunde mostrou que o período que se inicia aproximadamente no mês de maio e vai até meados de setembro (outono e inverno) apresenta temperaturas médias do ar mais amenas, tendo a menor média mínima sido registrada no mês de agosto ($19,6^{\circ}\text{C}$). Já o período que vai de outubro até abril (primavera e verão) apresentou temperaturas ligeiramente mais altas, tendo a maior média máxima sido ocorrida no mês de março ($32,0^{\circ}\text{C}$). As temperaturas médias oscilaram entre $23,3^{\circ}\text{C}$ e $26,5^{\circ}\text{C}$, como visto no Gráfico 26.

Gráfico 26 – Temperatura média mensal do ar de São Luís do Quitunde

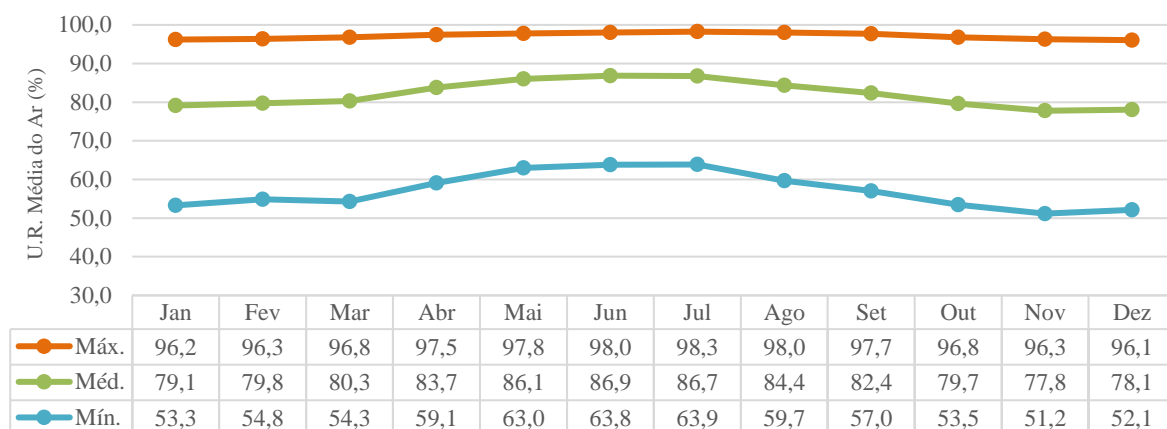


Fonte: Elaborado pela autora

As amplitudes térmicas médias do ar em São Luís do Quitunde se comportaram de maneira relativamente constante ao longo do ano. A diferença entre a menor amplitude média (ocorrida no período de chuvas) e a maior (ocorrida no período seco) é de apenas $2,1^{\circ}\text{C}$. Os menores valores verificados foram de 8°C (junho e julho) e o maior foi de $10,1^{\circ}\text{C}$ (outubro).

Com relação à umidade relativa do ar, São Luís do Quitunde apresenta os maiores valores médios dentre as cidades estudadas nesta pesquisa. Os valores médios giraram em torno dos 80% e 90% ao longo do ano, como visto no Gráfico 27. Os valores de umidade relativa máxima média também ficaram acima dos 95% em todos os meses. Só é possível observar uma pequena diferenciação entre os meses pertencentes à estação chuvosa com relação aos demais na análise das umidades mínimas médias. De maio a julho, a umidade relativa mínima média esteve acima dos 60%, enquanto nos demais meses os valores se aproximaram dos 50%.

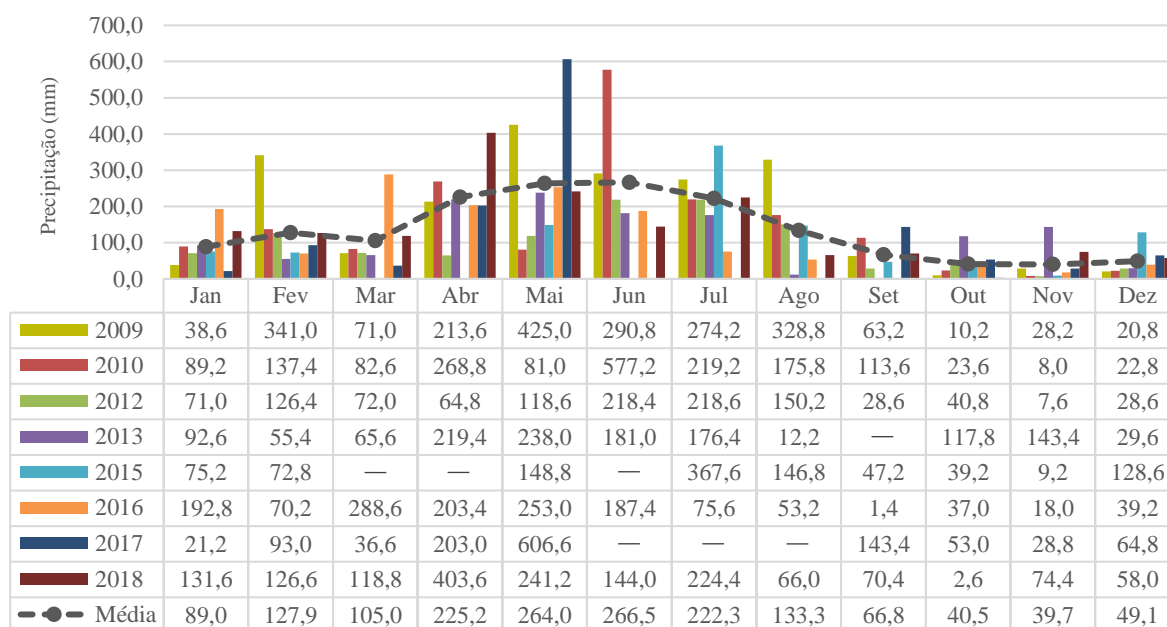
Gráfico 27 – Umidade relativa média mensal do ar de São Luís do Quitunde



Fonte: Elaborado pela autora

Em São Luís do Quitunde, o mês mais seco dentre os estudados foi 2012, que registrou um total anual de 1145,6mm de chuva. Já 2009, foi o ano mais úmido, com totais anuais de 2105,4mm⁴³. O total pluviométrico médio anual encontrado foi de 1468,6mm. O período chuvoso começa por volta do mês de abril e termina aproximadamente em agosto, como visto no Gráfico 28, destacando-se que, entre abril e julho as médias dos totais pluviométricos mensais estiveram acima dos 200mm, enquanto que nos meses mais secos as médias foram próximas ou inferiores a 100mm.

Gráfico 28 – Precipitação média mensal de São Luís do Quitunde

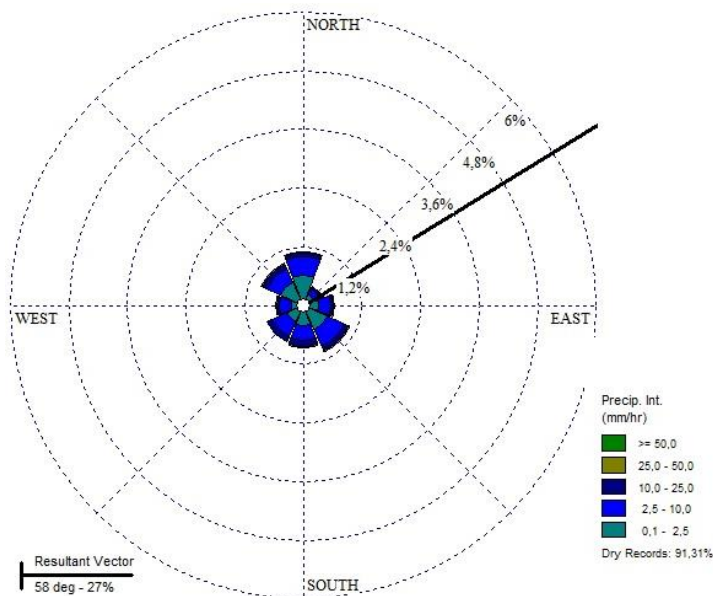


Fonte: Elaborado pela autora

⁴³ Considerando apenas os anos com todos os valores totais mensais disponíveis.

São Luís do Quitunde apresentou a maior variação quanto as direções de incidência das chuvas, como visto no Gráfico 29. A rosa de chuvas da cidade mostrou que a direção predominante das chuvas na cidade é a norte e a secundária é a sudeste, seguidas de perto por noroeste, sul e sudoeste respectivamente. As chuvas ocorreram em maior frequência com a intensidade de 0,1 a 2,5mm/h seguida de 2,5 a 10mm/h, as caracterizando como chuvisco e chuvas fracas (LEITE; ADACHESKI; VIRGENS FILHO, 2011), respectivamente.

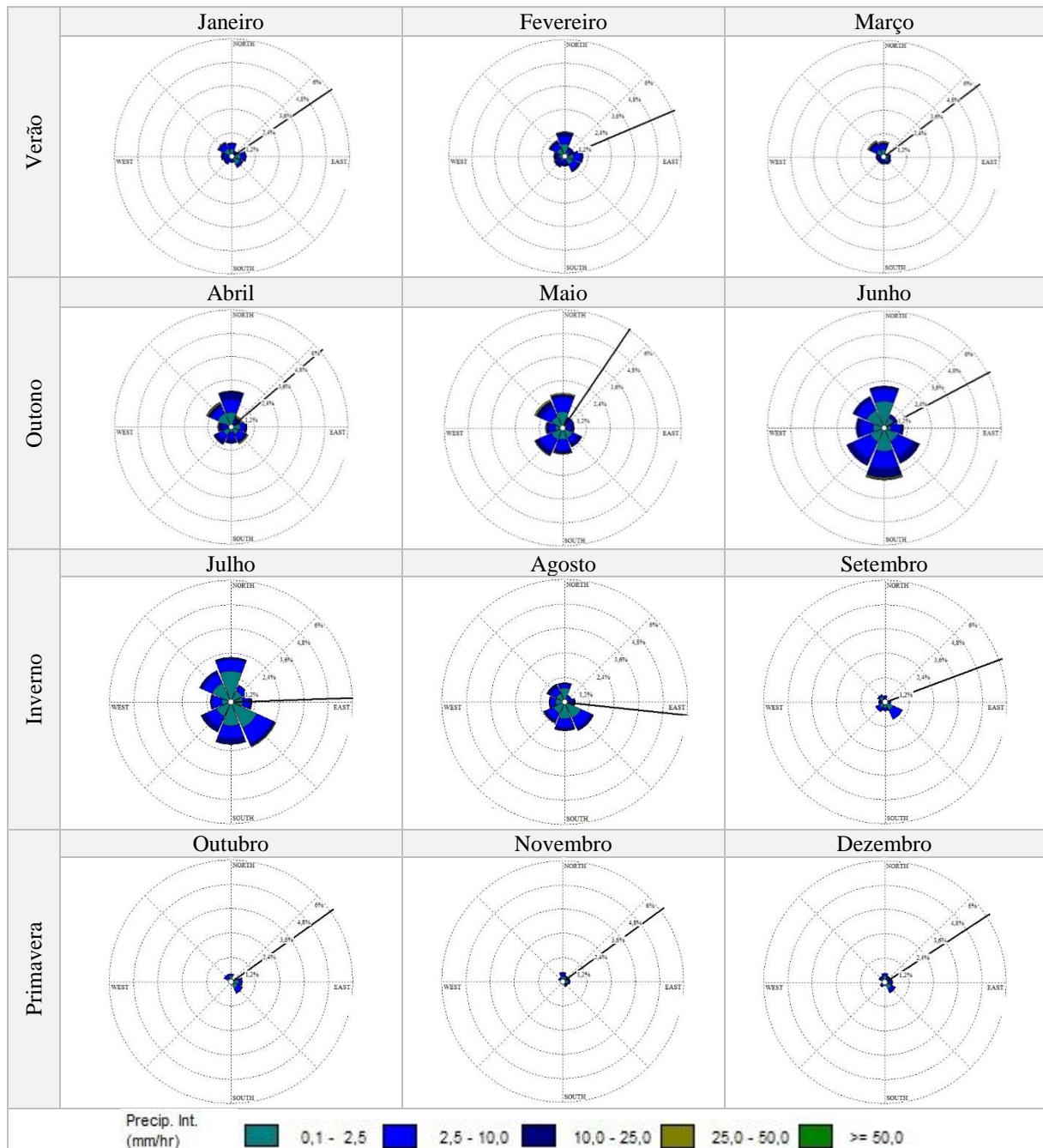
Gráfico 29 – Rosa de chuva com média anual de totais pluviométricos e direção das chuvas em São Luís do Quitunde



Fonte: Elaborado pela autora

As rosas de chuvas mensais da cidade, expostas no Quadro 34, mostraram que, no período de maior pluviosidade, a direção predominante das chuvas variou de mês para mês, dificultando a escolha da direção com maior necessidade de proteção. Uma vez que as faixas de intensidade das chuvas se comportaram de maneira semelhante em todas as direções, observou-se que as direções com maior frequência de chuvas moderadas (10 a 25mm/h) e chuvas fortes (25 a 50mm/h) foram a norte e a sul, sugerindo uma possível prioridade sobre as outras direções quanto à necessidade de proteção.

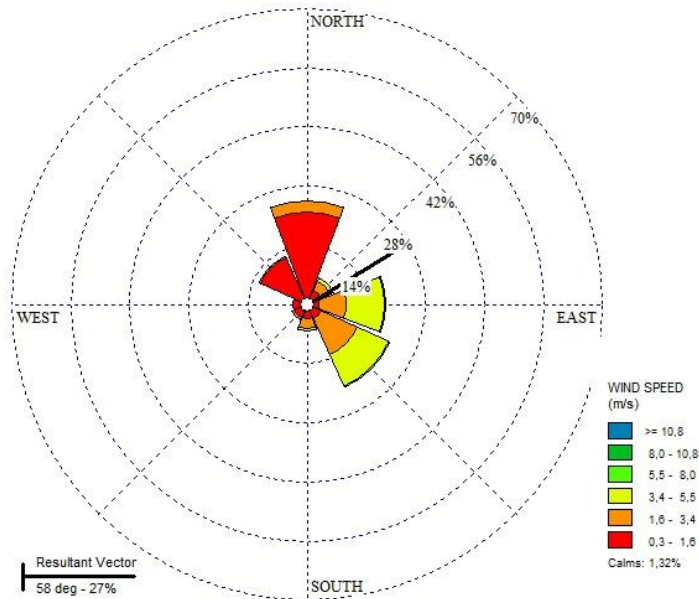
Quadro 34 – Rosas de chuva com médias mensais de totais pluviométricos e direção das chuvas em São Luís do Quitunde



Fonte: Elaborado pela autora

A rosa dos ventos de São Luís do Quitunde revelou que os ventos mais frequentes na cidade tem origem na direção norte, seguidos dos ventos do sudeste e do leste, como visto no Gráfico 30. Apesar do período de calmarias corresponder a apenas 1,32%, notou-se que os ventos predominantes (norte) se ocorreram com velocidades mais baixas (0,3 a 1,6m/s – aragem e 1,6 a 3,4m/s - fraco) que os incidentes das direções sudeste e leste (1,6 a 3,4m/s – fraco e 3,4 a 5,5m/s - bonançoso).

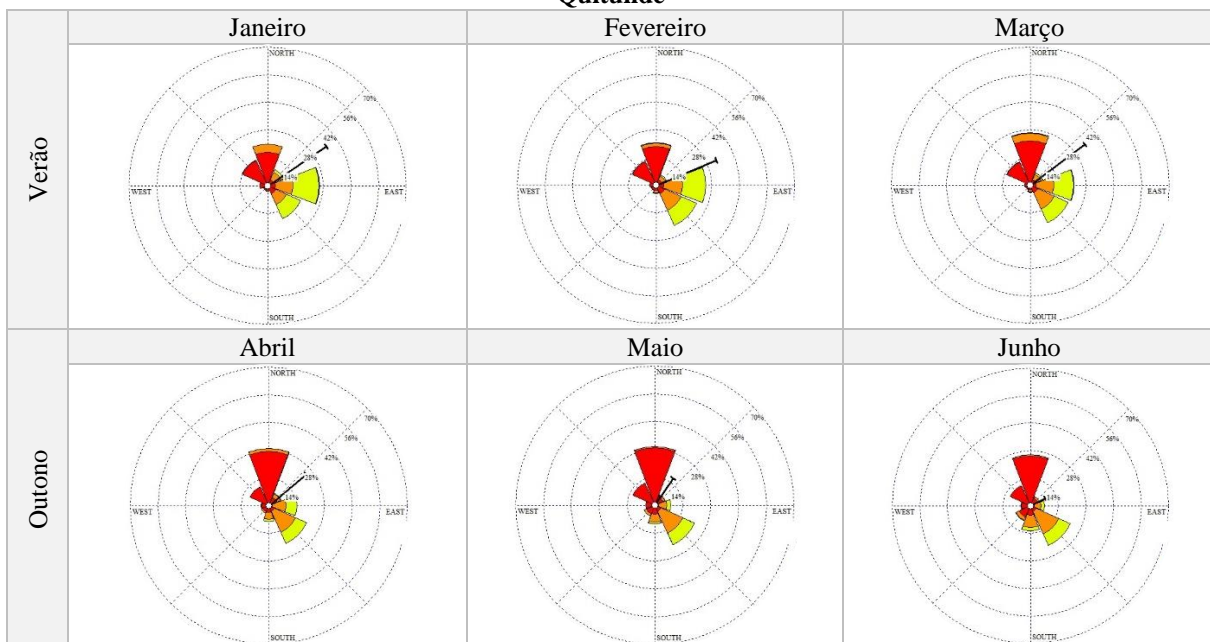
Gráfico 30 – Rosa dos ventos com média anual de frequência e direção dos ventos em São Luís do Quitunde



Fonte: Elaborado pela autora

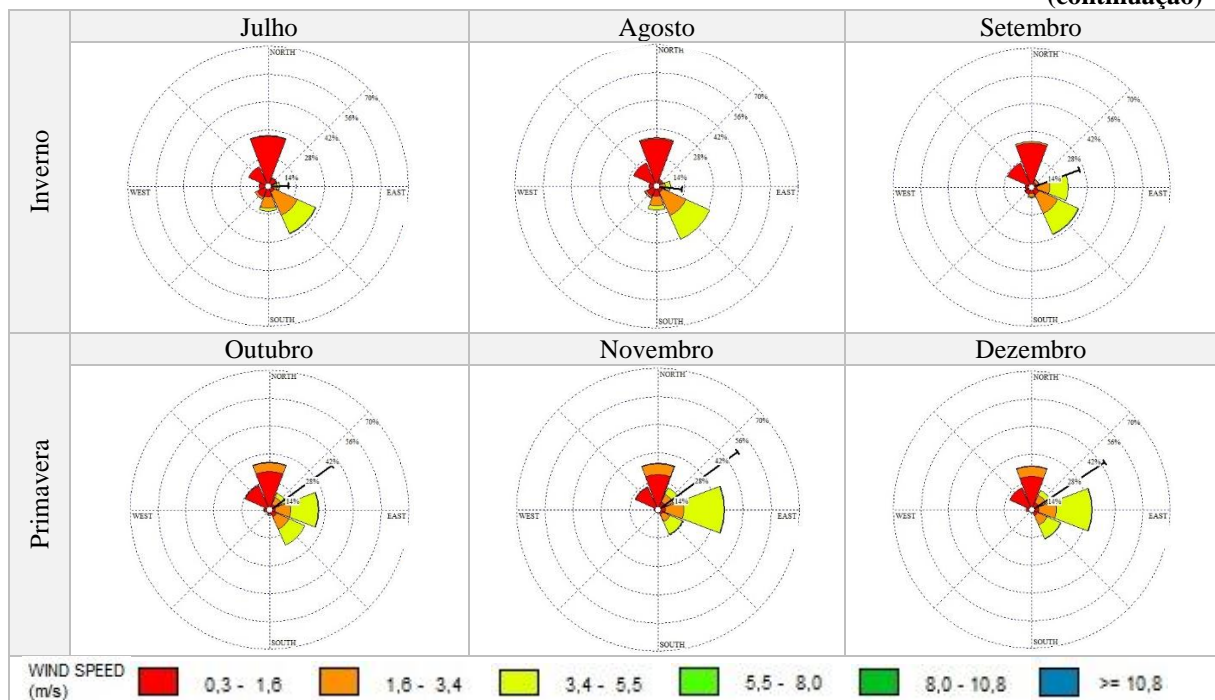
As rosas dos ventos mensais, vistas no Quadro 35, mostraram que as direções predominantes variaram ao longo dos meses. De março a junho, a direção predominante é a norte. De julho a setembro, a ventilação passa a incidir principalmente vinda do sudeste. Já de outubro a fevereiro, a direção predominante passa a ser a leste. Independentemente de a ventilação ser predominante ou não, os ventos com origem no norte se apresentaram com velocidades menores que os das demais direções.

Quadro 35 – Rosas dos ventos com médias mensais de frequência e direção dos ventos em São Luís do Quitunde



(continua)

(continuação)

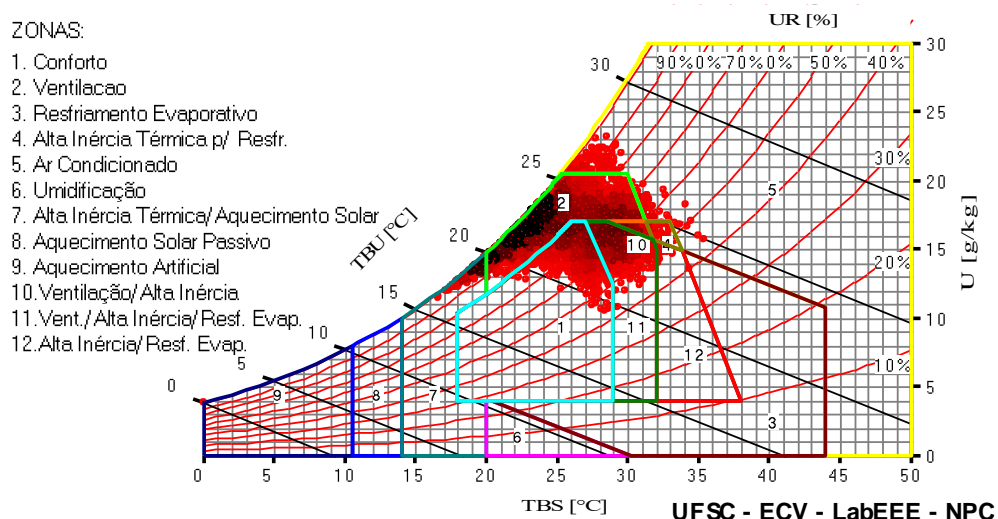


Fonte: Elaborado pela autora

5.6.2. Carta de Givoni

São Luís do Quitunde teve como Ano Climático de Referência (TRY) o ano de 2016, de modo que as estratégias sugeridas pela Carta de Givoni foram baseadas neste ano. Pode-se observar a Carta gerada e os dados plotados na mesma na Figura 35.

Figura 35 – Carta Bioclimática de São Luís do Quitunde com dados do ano de 2016 (TRY)



Fonte: Elaborada pela autora

O relatório gerado pelo programa *Analysis BIO* apontou que o período em que a cidade está em condição de conforto térmico é bem pequeno (apenas 13% do ano), o menor entre as seis cidades estudadas. O desconforto gerado por frio corresponde a 4,29% das horas do ano e

o gerado por calor ocorre em 82,7% das horas do ano. Na Tabela 28, observa-se os percentuais de indicação das principais estratégias sugeridas pela Carta ao longo do ano.

Tabela 28 – Estratégias bioclimáticas indicadas pela Carta de Givoni para São Luís do Quitunde-AL

Estratégia		Período	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Ano
Conforto			16,7%	3,17%	3,22%	28,7%	13,0%
Desconforto	Calor	<i>Sombreamento</i>	98,9%	99,6%	99,4%	84,9%	95,7%
		<i>Ventilação</i>	79,5%	91,6%	92,5%	56,2%	80,0%
		<i>Alta Inércia p/ Resfriamento</i>	31,8%	14,6%	11,7%	6,8%	16,1%
		<i>Resfriamento Evaporativo</i>	28,4%	10,8%	9,4%	6,7%	13,7%
		<i>Ar Condicionado</i>	0,2%	4,1%	3,5%	0,0%	1,9%
	Frio	<i>Alta Inércia Térmica/Aqueci. Solar</i>	1,0%	0,4%	0,6%	15,1%	4,3%

Fonte: Elaborada pela autora

As estações mais desconfortáveis são o verão e o outono, com percentuais de conforto girando em torno de apenas 3%, mas o desconforto é alto por todo o ano visto que a temperatura e a umidade relativa do ar são constantemente altas.

As principais estratégias são o sombreamento e a ventilação, seguidas pela alta inércia para resfriamento e o resfriamento evaporativo. No verão e no outono, é mais recorrente a necessidade do uso de ar condicionado. Durante o inverno, a ventilação passa a ser necessária em apenas metade do período e a alta inércia térmica para aquecimento combinada com o aquecimento solar são eventualmente recomendadas para minimizar o desconforto causado pelo frio.

5.6.3. Método de Mahoney Nebuloso

A análise dos dados climáticos de São Luís do Quitunde pelo Método de Mahoney Nebuloso apresentados na Tabela 29 permitiu maior compreensão acerca do comportamento do clima da cidade ao longo do ano. A variável temperatura se caracterizou como alta em todos os meses do ano, com graus de pertinência máximos (1,00) para o conjunto nebuloso “ TM_{alta} ”. Aliada a este fato, a amplitude térmica foi considerada pequena durante todo o ano, isto é, os graus de pertinência foram maiores para o conjunto nebuloso “ $AT_{pequena}$ ”.

Tabela 29 – Dados climáticos e seus graus de pertinência (Quadro I) – São Luís do Quitunde

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TM (°C)	26,20	26,30	26,50	26,00	25,10	24,10	23,40	23,30	23,90	25,00	25,70	26,20
μ TMA _{alta}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
μ TMM _{média}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
μ TMB _{baixa}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AT (°C)	9,40	8,90	9,50	8,80	8,10	8,00	8,00	8,60	9,20	9,60	10,20	9,80
μ AT _{grande}	0,47	0,44	0,48	0,44	0,41	0,40	0,40	0,43	0,46	0,48	0,50	0,49
μ ATP _{pequena}	0,53	0,56	0,52	0,56	0,60	0,60	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,51
URM (%)	79,10	79,80	80,30	83,70	86,10	86,90	86,70	84,40	82,40	79,70	77,80	78,10
μ URM _{seco}	0,14	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,19	0,18
μ URM _{úmido}	0,86	0,89	0,90	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,89	0,81	0,82
PL Média (mm)	89,00	127,90	105,00	225,20	264,00	266,50	222,30	133,30	66,80	40,50	39,70	49,10
μ PL _{alta}	0,22	0,32	0,26	0,55	0,63	0,63	0,54	0,33	0,17	0,10	0,10	0,12

Fonte: Elaborada pela autora

Ainda na Tabela 29, percebe-se que a umidade relativa do ar foi suficientemente alta de modo a caracterizar o clima como úmido em todos os meses do ano com graus de pertinência para o conjunto nebuloso “URM_{úmido}” superiores a 0,80. A pluviosidade da cidade só foi considerada alta de abril a julho (graus de pertinência acima de 0,50) para o conjunto nebuloso “PL_{alta}”.

A determinação do rigor térmico diurno e noturno em São Luís do Quitunde pode ser vista na Tabela 30. Observa-se que, durante o dia, a característica que prevalece ao longo de todo o ano é a dos dias serem quentes (graus de pertinência maiores para o conjunto nebuloso “RT_{dia-quente}”). Por outro lado, o método constatou que as noites na cidade são confortáveis na maioria dos meses (graus de pertinências maiores para o conjunto nebuloso “RT_{noite-confortável}”). Agosto e setembro apresentaram maior afinidade com a definição das noites como frias.

Tabela 30 – Classificação de rigor térmico diurno e noturno (Quadro II) – São Luís do Quitunde

RT_{dia}	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
μ RT _{dia - Frio}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
μ RT _{dia - Confortável}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
μ RT _{dia - Quente}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,87	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00
RT_{noite}												
μ RT _{noite - Frio}	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,24	0,40	0,50	0,44	0,27	0,21	0,05
μ RT _{noite - Confortável}	0,97	0,96	0,95	0,96	0,95	0,76	0,60	0,50	0,56	0,73	0,79	0,95
μ RT _{noite - Quente}	0,00	0,04	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Em seguida, foi realizada a investigação quanto à frequência mensal e anual dos indicadores climáticos de umidade e de aridez na cidade, exposta na Tabela 31. O indicador

mais frequente novamente foi o de aridez A2, caracterizado pela possibilidade de se dormir ao ar livre, com graus de pertinência superiores a 0,70 em todos os meses. O segundo indicador mais presente é o de umidade H1, que indica a necessidade de movimento do ar, com graus de pertinência muito semelhantes aos encontrados para o indicador A2.

Tabela 31 – Inferência para o grau de pertinência dos indicadores climáticos (Quadro II) – São Luís do Quitunde

Indicadores	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Freq. Anual
μ_{H1}	0,86	0,89	0,90	0,92	0,93	0,93	0,87	0,88	0,91	0,89	0,81	0,82	10,63
μ_{H2}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
μ_{H3}	0,22	0,32	0,26	0,55	0,63	0,63	0,54	0,33	0,17	0,10	0,10	0,12	3,98
μ_{A1}	0,14	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,19	0,18	1,27
μ_{A2}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,87	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	11,74
μ_{A3}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Com os valores da frequência anual dos indicadores climáticos, finalmente foi possível modelar (ver Apêndice D) e averiguar quais as estratégias projetuais (R) mais adequadas a São Luís do Quitunde segundo o MMN, destacadas na Quadro 36.

Quadro 36 – Resultados de inferência para as recomendações projetuais por meio do MMN (Quadro III) – São Luís do Quitunde

Pertinência	Recomendação	
Traçado		
1,00	R1	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
0,00	R2	Planejamento de pequenos pátios ao redor dos quais os edifícios são construídos
Espaçamento		
0,63	R3	Espaço aberto para penetração de brisa
0,37	R4	O mesmo que o anterior, porém com proteção contra o vento frio/quente
0,00	R5	Planejamento de agrupamento compacto de edifícios
Movimento do ar		
1,00	R6	Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
0,00	R7	Salas dispostas em fileira dupla com provisão temporária de movimento do ar
0,00	R8	Não é necessário o movimento do ar
Aberturas		
0,73	R9	Aberturas grandes, 40-80% nas paredes N e S
0,00	R10	Aberturas muito pequenas, 10-20%
0,27	R11	Aberturas medianas, 20-40%
Paredes		
1,00	R12	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
0,00	R13	Paredes pesadas; interiores e exteriores
Coberturas		
1,00	R14	Coberturas isoladas leves
0,00	R15	Coberturas pesadas; mais de 8h de transmissão térmica
Espaço para dormir ao ar livre		
1,00	R16	Espaço necessário para dormir ao ar livre
Proteção contra chuvas pesadas		
1,00	R17	Necessidade de proteção contra chuva intensa

Fonte: Elaborado pela autora

5.6.4. Discussão das estratégias bioclimáticas

As recomendações bioclimáticas dadas pelo ZBB, pela Carta de Givoni e pelo Método de Mahoney Nebuloso para São Luís do Quitunde foram reunidas no Quadro 37.

Quadro 37 – Diretrizes propostas pela NBR 15220-3 (Zona 8) e pelas metodologias de Givoni e Mahoney Nebuloso para São Luís do Quitunde

Métodos	NBR 15220-3 (ZB-8)	Givoni	MMN
Diretrizes	Sombrear aberturas	Sombreamento durante todo o ano	Edifícios orientados sobre o eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para reduzir a exposição ao sol
	Ventilação cruzada permanente	Ventilação durante todo o ano, principalmente na primavera, verão e outono	Espaço aberto para penetração de brisa Salas dispostas em fileira única; provisão permanente de movimento do ar
	Aberturas para ventilação grandes (AzBB>40%)	-	Aberturas grandes, (AMMN=40-80%) nas paredes N e S
	Parede leve refletora	Alta inércia para resfriamento nos dias mais quentes da primavera	Paredes leves; tempo curto de transmissão térmica
	Cobertura leve refletora		Coberturas isoladas leves
	-	Resfriamento evaporativo em dias mais quentes da primavera	-
	O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes.	Ar condicionado em dias mais quentes da primavera, verão e outono	-
	-	-	Espaço necessário para dormir ao ar livre
	-	-	Necessidade de proteção contra chuva intensa
	-	Alta inércia/Aquec. Solar em noites mais frias do inverno e primavera	-

Fonte: Elaborado pela autora

Em São Luís do Quitunde, o sombreamento é indispensável para o aumento do conforto térmico na edificação, pois o sombreamento é recomendado sempre que a temperatura do ar for maior que 20°C (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013) e as temperaturas mínimas médias da cidade superam este limite em quase todos os meses. O MMN recomenda que os edifícios sejam dispostos no eixo N/S (eixo longitudinal L/O) para diminuir a exposição ao sol, mas, de todo modo, o uso da carta solar local é fundamental para se atingir as melhores soluções projetuais. Por ser bastante recomendado ao longo de todo o ano, o sombreamento pode ser aplicado por meio de dispositivos fixos, contanto que não prejudique o bom emprego da luz e da ventilação naturais e que contemplem a proteção da edificação contra as chuvas intensas.

O uso da ventilação cruzada também é altamente recomendado ao longo de todo o ano, exceto no inverno, onde a ventilação deve ser seletiva. A estratégia deve ser empregada por meio de aberturas nas fachadas leste, sudeste e/ou norte (direções de origem dos ventos dominantes) e em fachadas opostas a elas. Além disso, é preciso haver espaços abertos entre as

edificações e as plantas baixas devem ser livres a fim de permitir melhor movimentação do ar. As aberturas devem admitir o controle dos fluxos de vento para se evitar os ganhos térmicos por convecção quando a temperatura do ar for superior a 32°C (GIVONI, 1997) e devem ser grandes, ou seja, ter área de abertura igual ou superior a 40% da área da parede. Eventualmente, pode ser necessário o uso de ventilação mecânica quando a velocidade do vento for insignificante.

Em São Luís do Quitunde, o uso da inércia térmica para resfriamento não é crucial. O Zoneamento Bioclimático e o Método de Mahoney Nebuloso sugeriram o uso de paredes e coberturas leves. Já a Carta de Givoni, mostrou que o uso de alta inércia pode ser benéfico em dias mais quentes, principalmente durante a primavera. Mas, levando em consideração que o emprego de materiais com alta inércia térmica nas paredes e cobertura seria uma medida permanente e que teria baixo aproveitamento ao longo do ano, é recomendável que não se aplique esta estratégia nas edificações da cidade.

O resfriamento evaporativo apresentou baixos percentuais de indicação para a cidade, tendo maior demanda durante a primavera. Porém, São Luís do Quitunde é uma cidade tipicamente úmida (Tabela 29) e possui ventos com baixa velocidade em boa parte do ano (Quadro 35), portanto a estratégia só deve ser adotada nos dias mais secos da cidade, ou seja, de forma intermitente, preferencialmente por meios indiretos.

As noites de São Luís do Quitunde foram apontadas como confortáveis por praticamente todo o ano (Tabela 30), por isso é indicado que se durma ao ar livre na cidade. Seguir a recomendação de forma estrita pode não ser praticável por questões de segurança. Assim, é preferível que se avalie mecanismos que permitam a ventilação noturna a fim de se substituir o ar quente por fresco dentro da edificação.

Nos dias mais quentes e mais frios da cidade, o uso de ar condicionado ou de alta inércia térmica aliada ao aquecimento solar, respectivamente, pode ser aceitável. Se adotado, o aparelho de ar condicionado deve ser energeticamente eficiente e usado em ambiente bem vedado. Já as medidas para minimização do frio devem ser aplicadas apenas se por meios ajustáveis uma vez que só é oportuna em poucos momentos do ano.

5.7. Síntese das recomendações

A análise do perfil climático das seis cidades abordadas evidenciou as semelhanças e diferenças entre elas. O resumo do comportamento das variáveis climáticas estudadas pode ser visto na Tabela 32.

Tabela 32 – Síntese dos dados médios anuais das seis cidades estudadas

Variável	Mesorregião		Sertão		Agreste				Leste					
	Parâmetro		Pão de Açúcar		Arapiraca		Palmeira dos Índios		Coruripe		Maceió		São Luís do Quitunde	
Alt. (m)	-		21,0		237,0		278,0		82,0		84,0		14,0	
Temp. do ar (°C)	Mínima	Méd.	22,2		20,8		21,1		23,1		22,1		21,3	
		Abs.	16,3		15,1		15,6		18,0		16,4		16,2	
	Máxima	Méd.	33,8		30,8		30,5		30,8		29,8		30,3	
		Abs.	42,8		39,8		40,1		42,2		36,3		37,3	
Média		27,1		24,7		25,0		26,3		25,4		25,1		
Ampl. Térmica do ar (°C)	Mínima Média		10,9		6,6		9,1		7,2		7,3		8,8	
	Máxima Média		12,3		13,5		11,4		8,7		8,1		9,4	
	Média		11,6		10,1		10,0		7,7		7,8		9,0	
U.R. do ar (%)	Mínima	Méd.	38,2		44,7		44,0		55,9		56,7		57,1	
		Abs.	10,0		10,0		10,0		27,0		29,0		30,0	
	Máxima	Méd.	90,9		90,6		87,9		91,3		91,9		97,1	
		Abs.	100,0		100,0		100,0		100,0		96,0		100,0	
Média		68,3		73,9		71,0		79,3		78,4		82,1		
PL. (mm)	Mínima		299,8		495,4		217,2		685,2		1151,6		1035,4	
	Máxima		843,2		1189,2		1302,8		2176,0		2512,2		2105,4	
	Média		522,4		890,0		592,8		1177,6		1737,0		1468,6	
Dir. Vento	Predominante		Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido
			SE	SE	L	SE	L	L	L	SE	L	SE	L	SE
	Secundário		Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido	Seco	Úmido
			L	L	SE	L	NE	SE	NE	L	NE	L	SE/N	N/S

Fonte: Elaborada pela autora

As temperaturas médias do ar tiveram variação relativamente pequena entre as seis cidades. A maior média foi a de Pão de Açúcar, cidade mais continentalizada dentre as seis estudadas e pertencente ao Sertão alagoano. Arapiraca e Palmeira dos Índios, embora também estejam distantes do litoral, apresentaram temperaturas médias menores que as das cidades mais próximas do mar. Isto possivelmente ocorre devido às duas cidades do Agreste estarem em altitudes consideravelmente maiores que as demais localidades. Nos valores absolutos de temperatura do ar, observa-se maiores diferenças, principalmente quanto à temperatura máxima absoluta, com o menor valor registrado em Maceió (36,3°C) e o maior em Pão de Açúcar (42,8°C).

Quando verificadas mês a mês, as temperaturas médias de Arapiraca, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar apresentaram curvas mais acentuadas que as de Coruripe, Maceió e São Luís do Quitunde (ver Apêndice E). Os valores das amplitudes térmicas médias também

assinalaram essa diferença no comportamento climático das cidades. As localizadas no Leste do estado tiveram menores variações de temperatura do ar devido à proximidade com o mar. Quanto mais afastada do litoral está a cidade, maiores os valores de amplitude média atingidos.

Quanto à umidade relativa do ar, a continentalidade desempenha efeito inversamente proporcional ao anterior: quanto mais afastada do litoral está a cidade, menores os valores de umidade relativa média atingidos. São Luís do Quitunde fugiu a essa regra, apresentando níveis de umidade relativa do ar maiores que Coruripe e Maceió. Este fato provavelmente se deve ao fato de a estação meteorológica de São Luís do Quitunde estar a apenas 14m de altitude, como já visto no Quadro 5.

A precipitação foi a variável com comportamento mais distinto entre as cidades. Em média, Maceió recebe aproximadamente o triplo de chuvas que Pão de Açúcar e Palmeira dos Índios recebem. As três cidades do Leste alagoano possuem médias de precipitação acima dos 1000mm, enquanto as demais apresentam valores bem menores. O período chuvoso se concentra principalmente nos meses de abril a agosto em todas as cidades, coincidindo com os meses de temperatura e amplitude térmica do ar mais amenas e umidade relativa alta. O período mais seco, ocorre nos meses de temperaturas e amplitude do ar mais altas e umidade relativa mais baixa que no período de inverno (ver Apêndice E).

A análise da ventilação revelou que as direções dos ventos predominantes e secundários variam ao longo do ano de maneira diferente em cada localidade, havendo maior frequência dos ventos leste e sudeste de modo geral. Além disso, os períodos de calmarias são mais comuns nas cidades continentalizadas: Arapiraca, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar (ver Apêndice C).

Todas estas características se refletem as recomendações projetuais apontadas para cada localidade e sintetizadas no Quadro 38. As maiores diferenças notadas nas recomendações se referem à necessidade de atenuação das amplitudes térmicas, à proteção contra as chuvas, às direções dos ventos dominantes, ao emprego da inércia térmica nas paredes da edificação e à maneira de resfriar o ar.

Quadro 38 – Síntese das estratégias bioclimáticas para as seis cidades estudadas⁴⁴

Estratégias	Sertão			Leste		
	Pão de Açúcar	Arapiraca	Palmeira dos Índios	Coruripe	Maceió	São Luís do Quitunde
<i>Traçado</i>	Fachadas: N ou S, com eixo longitudinal L/O, podendo sofrer leves desvios a fim de captar a ventilação dominante					
<i>Espaçamento</i>	Espaços abertos entre as edificações, com proteção (vegetação) contra ventos quentes					
<i>Sombreamento</i>	Permanente, por toda a edificação, evitando afetar a iluminação e os fluxos de vento					
<i>Proteção contra chuvas intensas</i>	Desnecessária			Necessária, principalmente nas paredes SE e L		Necessária, principalmente nas paredes S e SE
<i>Ventilação diurna</i>	Necessária por todo o ano, quando $TM < 32^{\circ}C$					
<i>Ventilação noturna</i>	Necessária por todo o ano, com dispositivos para controle da entrada dos ventos frios					
<i>Aberturas</i>	Medianas (A = 20-40%), nas paredes SE (ventos predom. ao longo de todo ano) e L (ventos secundários) e com dispositivos para controle da entrada dos ventos indesejáveis	Medianas (A = 20-40%), nas paredes L (ventos predom. de out. a abr) e SE (ventos predom. de mai a set) e com dispositivos para controle da entrada dos ventos indesejáveis	Medianas (A = 20-40%), nas paredes L (ventos predom. de set. a mai) e SE (ventos predom. de jun a ago) e com dispositivos para controle da entrada dos ventos indesejáveis	Medianas (A = 20-40%), nas paredes L (ventos predom. de set. a abr) e SE (ventos predom. de mai a ago) e com dispositivos para controle da entrada dos ventos indesejáveis	Medianas (A = 20-40%), nas paredes L (ventos predom. de set. a abr) e SE (ventos predom. de mai a ago) e com dispositivos para controle da entrada dos ventos indesejáveis	Grandes (A = 40-80%), nas paredes L (ventos predom. de out. a fev) e N e SE (ventos predom. de mar a set) e com dispositivos para controle da entrada dos ventos indesejáveis
<i>Paredes</i>	Paredes pesadas, combinadas com outras medidas de resfriamento					
<i>Cobertura</i>	Leves, refletoras e isoladas					
<i>Resfriamento evaporativo</i>	Vegetação e umidificação do ar ajustável					
<i>Ar condicionado</i>	Opcional para dias de calor extremo					
<i>Aquecimento</i>	Medidas ajustáveis: controle dos ventos frios, aquecimento solar					

Fonte: Elaborada pela autora

⁴⁴ Ver ilustração das estratégias no Apêndice F

O emprego de alta inércia em paredes é a estratégia que requer maior atenção do projetista devido a constituir medida de difícil ajuste e à indefinição das metodologias, já que, para todas as cidades, o Método de Givoni recomenda a estratégia de maneira restrita ao longo de todo o ano e o Método de Mahoney Nebuloso mostra a frequência dos indicadores de aridez $A1^{45}$ relativamente próxima do limite definidor desta estratégia. Um aspecto a ser considerado é o tipo de uso, uma vez que cada ambiente projetado pode requerer envoltórias com diferentes comportamentos quanto ao seu isolamento.

Assim como foi verificado por Martins, Bittencourt e Krause (2012), os resultados encontrados para Pão de Açúcar, nesta pesquisa, não foram plenamente compatíveis com os recomendados pelo ZBB para a Zona Bioclimática 7. O Zoneamento recomenda aberturas pequenas ($10\% < A_{ZBB} < 15\%$) e coberturas pesadas, ao passo que as recomendações deste trabalho foram aberturas medianas e coberturas leves, refletoras e isoladas. Isto confirma a alegação dos autores acima citados quanto à inadequação da classificação de Pão de Açúcar tanto na ZB-7, quanto na ZB-8, apontando para a possibilidade de criação de subzonas que contemplem as variações climáticas existentes ou o estabelecimento de um zoneamento sazonal, com diretrizes recomendadas de acordo com a estação climática.

Quando comparados os resultados com os obtidos por Passos (2009) para as cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, percebe-se recomendações semelhantes. As diferenças se dão com relação à forma de apresentação dos resultados encontrados. Quanto à proteção contra as chuvas, a autora informou o período de maior necessidade, enquanto na presente pesquisa foi levantada a conveniência de proteção especial contra as chuvas intensas. O emprego da ventilação, diurna e noturna, também foi apontado por Passos (2009) considerando os períodos de maior necessidade. Quanto à inércia térmica, a autora recomendou seu uso em Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, mas apenas em ambientes de uso diurno. Já o resfriamento evaporativo, foi apontado como indispensável para Pão de Açúcar e aplicável por meio de vegetação em Palmeira dos Índios e Maceió.

O maior número de parâmetros construtivos levantados nesta pesquisa com relação às pesquisas anteriores resulta da combinação das metodologias Carta de Givoni (1992) e Método de Mahoney Nebuloso (1999).

⁴⁵ Indicador de Aridez A1: Armazenamento térmico necessário.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou elaborar fundamentação teórica a respeito da Climatologia aplicada à arquitetura no intuito de embasar, de maneira consistente, os procedimentos necessários para a obtenção e discussão das estratégias bioclimáticas indicadas para o planejamento arquitetônico em Alagoas, principal objetivo deste estudo.

Os dados climáticos de Arapiraca, Coruripe, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e São Luís do Quitunde, permitiram o traçado do perfil climático das mesmas, caracterizado, de maneira geral, pela presença de duas estações: verão quente e pouco chuvoso e inverno mais ameno e chuvoso. A utilização dos dados horários de 2009 a 2018 nas metodologias de auxílio projetual Carta de Givoni (1992) e Mahoney Nebuloso (1999) permitiu a obtenção de sugestões bioclimáticas adequadas aos contextos climáticos em questão, as quais foram discutidas considerando a literatura referente ao tema, de modo a eleger as mais efetivas.

A utilização de duas metodologias distintas para a obtenção das recomendações projetuais bioclimáticas foi fundamental para ampliar o número de parâmetros avaliados e permitiu discussão mais aprofundada acerca das características climáticas das localidades estudadas e de maneira mais detalhada.

Embora o Zoneamento Bioclimático Brasileiro tenha papel fundamental na implementação de práticas mais sustentáveis na concepção da arquitetura, pesquisas que se baseiem em dados climáticos tomados diretamente nas localidades estudadas, que contem com maior quantidade de dados, mais recentes e que utilizem metodologias distintas são muito importantes por permitirem o vislumbramento das peculiaridades climáticas de cada cidade, além de oferecerem um número maior de sugestões projetuais.

Uma das dificuldades da pesquisa foi a falha na coleta de dados climáticos, que originam lacunas. Foi realizado diagnóstico das lacunas de cada cidade para todas as variáveis abordadas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação e ventilação) revelando quantidades de falhas variantes de acordo com a localidade da estação. Maceió teve, no máximo, dois meses com mais de 20% de dados inexistentes para cada uma das variáveis. Coruripe e São Luís do Quitunde tiveram pelo menos 10 meses nesta condição para cada variável ao longo do período considerado. Além disso, percebeu-se que a variável de precipitação é a que mais sofre com falhas na coleta de dados em todas as cidades. O tratamento dos dados climáticos seguiu sem a adição de dados estimados devido ao alto grau de complexidade em estimar dados horários de variáveis climáticas pertencentes a seis cidades.

Outro ponto negativo encontrado durante a pesquisa diz respeito às modelagens das recomendações projetuais do Método de Mahoney Nebuloso. O Mahoney Tradicional foi criado de modo a admitir apenas valores inteiros de somatório dos indicadores climáticos no Quadro III. Assim, os limites estabelecidos para cada recomendação por este método não preveem a entrada de valores fracionados. Na adaptação feita por Harris (1999), os limites de cada recomendação foram “*fuzzificados*”, ou seja, foram delineados segundo a Lógica Nebulosa de modo a permitir a análise de valores fracionados. Porém, em cada conjunto nebuloso representante de uma recomendação projetual, esta suavização dos limites considera apenas uma unidade contada a partir do extremo desse conjunto. Por exemplo, se para pertencer ao conjunto R4, o somatório do indicador H1 deve ser entre 2 e 10, a adaptação feita por Harris (1999) suavizou apenas os valores entre 2 a 3 e 9 a 10. Resulta disto que os valores de pertinência encontrados nada mais são que arredondamentos dos somatórios dos indicadores e não aplicação da Lógica Nebulosa de fato. Esta falha não acarreta comprometimento significativo dos resultados uma vez que o somatório dos indicadores de umidade e aridez já permitiria a análise de recomendações para as localidades, porém implica na não necessidade de modelar o Quadro III e apenas aplicar o critério de arredondamento.

A partir dessa reflexão, outra crítica que pode ser feita ao Método de Mahoney Nebuloso, sendo estendida ao Método de Mahoney Tradicional, está na definição das características das paredes e coberturas no Quadro III. Os métodos só preveem as situações em que são recomendadas envoltórias leves ou pesadas, mas não de uma característica intermediária. Assim, uma variação pequena (ou uma imprecisão, no caso de valores fracionados), pode acarretar recomendações opostas, como em Maceió, cuja recomendação foi de paredes leves, mas, se o somatório do indicador A1 fosse maior em 0,24, a recomendação seria de paredes pesadas. O ideal seria a previsão de uma característica de transição, quando as envoltórias não sejam leves nem pesadas, como paredes e cobertas “medianas”, por exemplo.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de pesquisas que busquem a discussão de estratégias bioclimáticas em Alagoas, tanto nas cidades aqui abordadas quanto em novos locais, como Piranhas, utilizando quantidade maior de dados climáticos horários a fim de minimizar a influência de lacunas. Sugere-se também o estudo mais aprofundado sobre o Método de Mahoney Nebuloso, no que diz respeito à melhor modelagem do Quadro III, uma vez que o Método permite análise detalhada das características climáticas locais ao mesmo tempo que oferece bom embasamento para decisões projetuais.

Por fim, esta pesquisa levanta, discute e sintetiza as estratégias bioclimáticas mais adequadas às cidades alagoanas estudadas a fim de auxiliar projetistas na concepção de edificações que proporcionem o conforto térmico aos seus usuários a partir do uso de condicionamento térmico passivo. Entretanto, cabe ao projetista ter a autonomia e a crítica necessárias para fazer uso das recomendações da maneira adequada, usando as orientações aqui apresentadas na sua prática profissional.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:2005 - Desempenho Térmico de Edificações** - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE, *AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS*, **Standard 169-2013, Weather Data for Building Design Standards**, Atlanta, 2013.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. M.; BARING, J. G. A. **Implantação de conjuntos habitacionais – Recomendações para adequação climática e acústica**. IPT: São Paulo, 1986.

AMORIM, A. C.; CARLO, J. C. **Análise das propostas de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro: estudo de caso de Colatina, ES**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 373-391, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100140>> Acesso em: 9 de abril de 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os Trópicos** / J. O. Ayoade. 4º ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 1996. 332p.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. **Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.4, 515 - 526, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130611>> Acesso em 2 de julho de 2018.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. – 2ª ed. – Maceió : EDUFAL, 2016. 201p.

BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. **Climatologia do Estado de Alagoas** / Alexandre Hugo Cezar Barros... [et al...] - - Dados eletrônicos. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p.; il. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892; 211). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/950797/climatologia-do-estado-de-alagoas>> Acesso em 22 de setembro de 2018.

BATISTA, J. O. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semiárido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema – AL**. /Juliana Oliveira Batista.-2006. 160p. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PosArq, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2006.

BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTZ, R. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Relatório. Santa Catarina, 1994. Universidade Federal de Santa Catarina, Núcleo de Pesquisa em Construção - Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf>. Acesso em 07 de outubro de 2013.

BOGO, A. J. **Reflexões críticas quanto às limitações do texto das Normas Brasileiras de Desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575**. Holus. V. 7, Ano 32, p. 290-298, 2016. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4389/1606>> Acesso em 1 de março de 2019.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. (Coord.) **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações** (Relatório 200504). Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE. Florianópolis, 28 de fevereiro de 2005. Disponível no endereço eletrônico: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf> Acesso em 27 de fevereiro de 2017.

CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**. Campinas, 1998. 173p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas (UNICAMP).

CORREIA, W. F. B. **Arquitetura e clima no contexto do semiárido: estratégias bioclimáticas para a cidade de Mata Grande-AL**. /Wevila Fontes Brandão Correia.-2012. 170f. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2012.

CORREIA, W. F. B.; BARBIRATO, G. M. **Arquitetura e clima no contexto do Semiárido Nordeste: Respostas construtivas com vistas ao conforto térmico e eficiência energética**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12. Brasília, 2013. Anais... Brasília: 2013 (CD-ROM). 1972 p.

ECLIPSE Juno. *Integrated Development Environment - IDE Java: Eclipse Foundation*, 2012. Disponível no endereço eletrônico: <<https://www.eclipse.org/downloads/packages/release/juno>> Acesso em 22 de fevereiro de 2019.

EVANS, J. M. **Zonificación Bioclimática en Latinoamérica para una Arquitectura Sustentable**. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Buenos Aires, v. 8, n. 1, p. 163-168, 2004.

FERREIRA, C. P. **Alguns dados sobre o clima para a edificação em Brasília**. Tese de Mestrado, UnB, 1965.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico** : arquitetura, urbanismo / Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer.— 5. ed. — São Paulo : Studio Nobel, 2001.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design** / Baruch Givoni. USA : John Wiley & Sons, Inc., 1997.

_____. **Comfort, climate analysis and building design guidelines**. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

GOIS, E. H. B.; BALTRUSCH, K. C. S. M. **Caracterização da Direção Predominante e da Velocidade Média do Vento para Bandeirantes-PR**. UNOPAR Científica : Ciências Exatas

e Tecnológicas, Londrina, v. 12, n. 1, p. 67-72, nov. 2013. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/exatas/article/view/396/372>> Acesso em 13 de fevereiro de 2018.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, F. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: NPC/UFSC, 1998. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>> Acesso em 23 de setembro de 2018.

GOULART, S. **Metodologia para identificação do TRY** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por Laura Resende Tavares (lauraresende@yahoo.com.br) em 7 de julho de 2010.

HARRIS, A. L. N. C. **Metodologia baseada na Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy System Theory*) para o tratamento das informações subjetivas do projeto arquitetônico**. 1999. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

HARRIS, A. L. N. C. **MMN em Java** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <monica_fers@hotmail.com> em 7 de fevereiro de 2017.

HARRIS, A. L. N. C.; YEE, C. L. **Os sistemas nebulosos na modelagem da subjetividade**. In: KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRICIO, M. M. (Orgs.) O processo de projeto em arquitetura da teoria à tecnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 181-202.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Alagoas**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama>> Acesso em 29 de agosto de 2018a.

_____. **Arapiraca**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama>> Acesso em: 22 de abril de 2018b.

_____. **Coruripe**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/coruripe/panorama>> Acesso em: 22 de abril de 2018c.

_____. **Maceió**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maceio/panorama>> Acesso em: 22 de abril de 2018d.

_____. **Palmeira dos Índios**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/palmeira-dos-indios/panorama>> Acesso em: 22 de abril de 2018e.

_____. **Pão de Açúcar**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pao-de-acucar/panorama>> Acesso em: 22 de abril de 2018f.

_____. **São Luís do Quitunde**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/sao-luis-do-quitunde/panorama>> Acesso em: 22 de abril de 2018g.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **INMET cobre o Brasil de estações automáticas: A meteorologia mais precisa**. Boletim informativo. Ano 1, Número 2, jul/ago 2007. 4 p. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/boletimInformativo_11.pdf> Acesso em: 17 de julho de 2018.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Traduzido por Emilio Romero Ros. 1 ed. Zaragoza: Paraninfo, 1977. 328 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. 1928. n.p.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Programa Computacional Analysis BIO**, Versão: 2.1.3. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-bio>>. Acesso em: 15 dez. 2007.

LAKES ENVIRONMENTAL SOFTWARE. *Wind Rose Plots For Meteorological Data - WRPLOT View Freeware*. Versão: 7.0.0. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>> Acesso em 28 de dezembro de 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Universidade Federal de Santa Catarina, 3ª ed. Florianópolis, 2013. 366 p. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>> Acesso em: 23 de setembro de 2018.

LEITE, M. L., ADACHESKI, P.A., VIRGENS FILHO, J. S. **Análise da frequência e da intensidade das chuvas em Ponta Grossa, Estado do Paraná, no período entre 1954 e 2001**. *Acta Scientiarum. Technology*. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Maringá, v. 33, n. 1, p. 57-64, 2011. Disponível no endereço eletrônico: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/6957/6957>> Acesso em 25 de novembro de 2018.

MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; KRAUSE, C. M. L. B. **Contribuição ao zoneamento bioclimático brasileiro: reflexões sobre o semiárido nordestino**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, abr./jun. 2012. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212012000200005&script=sci_abstract&tlng=pt> Acesso em: 9 de abril de 2018.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo: Conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis, 1991.

MORAES, O. B.; TORRES, S.C.; FREITAS, R.M. **Caracterização climática e planejamento urbano: o Método de Mahoney remodelado e os avanços para obtenção de recomendações de adequação climática de assentamentos construtivos**. In: Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – Contrastes, Contradições e Complexidades, 7. Maceió, 2016. Anais... Maceió: 2016.

NAVARRO, F. E. C. **Arquitetura e clima na Bolívia: Uma proposta de zoneamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Edificações) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1989.

NREL. *National Renewable Energy Laboratory. User's manual for TMY2s and TMY2sm*

typical meteorological years derived from the 1961-1990. Colorado: NREL, 1995.

NUNES, A. M. L., SILVA, M. F., BARBOSA, R. V. R., BARBIRATO, G. M. **Análise do padrão de ventilação natural na cidade de Arapiraca-AL**. In: Congresso Latino Americano de Engenharia do Vento, 3. São Paulo, 2018. Anais... São Paulo: IPT, 2018. p. 133-139.

NUNES, A. M. L. A. **Recomendações de estratégias bioclimáticas para Arapiraca-AL analisadas a partir do ano meteorológico típico (TMY)**. Relatório Técnico Pibic, 2016.

OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TERASSI, P. M. B.; GÓIS, G. **Estudo da circulação dos ventos na Baía de Guanabara/RJ, entre 2003 e 2013**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, n. 13, p. 59 a 80, 2017. Disponível no endereço eletrônico: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/51492/33284>> Acesso em 13 de fevereiro do 2018.

PASSOS, I. C. S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. 2009. 173 f. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

PEÑA, C. C.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D. **Comparação entre necessidade e disponibilidade de vento e radiação solar para fins de análise bioclimática de edificações em Florianópolis**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 87-101, out./dez. 2008.

PEREIRA, G. **Construindo Alagoas : estudos sociais** / Guilherme Pereira. – São Paulo : FTD, 1995.

PROJETEEE - **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes - Estratégias Bioclimáticas**. Disponível em <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>> Acessado em 9 de abril de 2019.

ROCHA, A. P. A.; ASSIS, E. S.; GONÇALVES, W. B. **Zoneamento Bioclimático do Estado de Minas Gerais: aperfeiçoamento dos resultados**. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 10. Natal, 2009. Anais... Natal: ANTAC, 2009.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público** / Marta Adriana Bustos Romero – Brasília : Editora Universidade de Brasília, 4ª reimpressão, 2015. 226p.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano** / Marta Adriana Bustos Romero. – Brasília : Editora Universidade de Brasília, 2013. 128p.

RORIZ, M. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 2**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2013a. Relatório Interno, disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf>> Acesso em 27 de junho de 2018.

_____. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 2.1**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2013b. Relatório Interno, disponível em:

<<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf>> Acesso em 27 de junho de 2018.

_____. **Classificação de Climas do Brasil – Versão 3.0.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2014. Relatório Interno, disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf>> Acesso em 27 de junho de 2018.

_____. **Segunda proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático do Brasil.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2012a. Relatório Interno, disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento.pdf>> Acesso em 20 de abril de 2018.

_____. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2012b. Relatório Interno, disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf> Acesso em 19 de abril de 2018.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares.** In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5. Fortaleza, 1999. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Zoneamento_NBR15220.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2017.

SENA, Carliza Bastos. **Análise comparativa entre o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney Nebuloso para caracterização do clima no projeto arquitetônico / C.B. Sena.** – São Paulo, 2004. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

TAVARES, L. R. **Eficiência Energética em Edificações: Aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – na cidade de Uberlândia-MG.** Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

UNITED NATIONS. *Department of Economic and Social Affairs. Climate and House Design: Design of low-cost housing and Community facilities.* Nova Iorque: 1971. V. 1.

WALSH, A.; LABAKI, L.; CÓSTOLA, D. **Panorama do zoneamento bioclimático nas Américas.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15. Maceió, 2014. Anais... Maceió: 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Lucila_Labaki/publication/301433638_Panorama_do_zoneamento_bioclimatico_nas_americas/links/5798262008ae33e89faedf86/Panorama-do-zoneamento-bioclimatico-nas-americas.pdf> Acesso em: 22 de setembro de 2018.

WATSON, D; LABS, K. **Climatic Building Design. Energy- efficient building principles and practice.** McGraw- Hill book Company. 1983.

WMO. *World Meteorological Organization. Guide to Climatological Practices (WMO-No. 100)*. Geneva, 2011. Disponível em: <https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_en.pdf>
Acesso em: 9 de agosto de 2018.

ZADEH, L. A. *Fuzzy Sets*. USA: *Information and Control*, 1965. p 338-353

Tabela 34 – Percentuais de dados faltantes em Coruripe (%)

Variável	Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
Temperatura do Ar	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	28,6	65,9	61,6	57,5	52,3	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,6
	2011	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	5,7	0,0	0,3	0,0	1,3
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	34,6	23,7	4,8
	2017	0,0	0,0	13,3	72,4	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Umidade Rel. do Ar	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	28,6	65,9	61,6	57,5	52,3	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,6
	2011	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	5,7	0,0	0,3	0,0	1,3
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	34,6	23,7	4,8
	2017	0,0	0,0	13,3	72,9	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Precipitação	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	28,6	65,9	61,6	57,5	52,3	20,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,6
	2011	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	13,0	99,6	5,7	0,0	0,3	0,0	10,1
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	99,6	0,0	0,0	0,4	100,0	17,0
	2016	99,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	34,6	23,9	13,3
	2017	0,0	0,0	13,3	72,9	27,2	0,4	100,0	100,0	103,3	99,6	48,2	0,0	47,4
2018	0,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,6	
Vel. Vento	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	28,6	65,9	62,1	57,5	52,4	20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	23,7
	2011	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	5,7	0,0	0,3	0,0	1,3
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2013	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	34,6	23,7	4,8
	2017	0,0	0,0	13,4	73,1	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	

Tabela 35 – Percentuais de dados faltantes de temperatura do ar em Maceió (%)

Variável	Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
Temperatura do Ar	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
	2012	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	9,5	49,7	0,0	0,3	0,3	0,0	5,1
	2013	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidade Rel. do Ar	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
	2012	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	9,7	50,0	0,0	0,3	0,3	0,0	5,1
	2013	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Precipitação	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
	2012	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	9,7	50,0	0,0	0,0	0,3	0,0	5,1
	2013	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	68,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
Vel. Vento	2009	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	2,4	0,2
	2012	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	9,7	50,0	0,0	0,3	0,3	0,0	5,1
	2013	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2015	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 37 – Percentuais de dados faltantes em Pão de Açúcar (%)

Variável	Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual	
Temperatura do Ar	2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,2	
	2010	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	33,5	3,7	
	2011	41,9	51,8	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	62,4	5,3	
	2013	99,6	96,6	14,7	0,0	0,0	15,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,4	
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	100,0	26,8	0,0	11,1	
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	41,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	3,5
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
	2018	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	4,3	37,5	59,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6
Umidade Rel. do Ar	2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,2	
	2010	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	33,5	3,7	
	2011	41,9	51,8	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	62,4	5,3	
	2013	99,6	96,6	12,5	0,0	0,0	15,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	100,0	26,8	0,0	11,1	
	2015	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	
	2016	1,5	0,3	1,3	2,9	7,7	0,3	41,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	4,7	
	2017	0,0	0,0	0,0	0,3	12,6	68,6	77,8	61,7	34,2	2,6	0,0	2,2	21,8	
	2018	2,0	5,8	0,0	4,3	1,1	1,5	4,3	37,5	59,0	0,0	1,1	2,6	9,9	
Precipitação	2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,2	
	2010	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	33,5	3,7	
	2011	41,9	51,8	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,1	8,7	
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	62,4	5,3	
	2013	99,6	96,6	12,5	0,0	0,0	15,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	
	2014	0,0	0,0	0,0	0,4	100,0	100,0	100,0	99,6	5,4	100,0	26,8	0,0	44,8	
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	39,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	3,4	
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	
	2018	0,0	0,4	99,6	2,6	0,0	0,0	4,3	37,2	59,0	0,0	0,0	0,0	17,1	
Vel. Vento	2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,2	
	2010	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	33,5	3,7	
	2011	41,9	51,8	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	
	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	62,4	5,3	
	2013	99,6	96,6	12,5	0,0	0,0	15,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,2	
	2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	100,0	26,9	0,0	11,2	
	2015	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	2016	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	39,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	3,4	
	2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	
	2018	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	4,3	37,6	59,0	0,0	0,0	0,0	8,6	

APÊNDICE B: Processo de determinação dos TRY's para as cidades estudadas

- *Arapiraca (2010)*

De acordo com as lacunas identificadas na Tabela 33, os anos de 2016 e 2018 não participaram da análise para determinação do TRY de Arapiraca por não possuírem todas as temperaturas médias mensais. As temperaturas médias de Arapiraca são exibidas na Tabela 39.

Tabela 39 – Temperaturas médias mensais de Arapiraca

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	26,41	25,77	26,38	26,12	24,19	23,27	22,71	22,49	25,50	27,36	27,84	26,56
2010	25,66	26,03	26,71	25,79	24,75	23,43	22,33	21,76	22,43	24,61	25,25	26,06
2011	25,55	25,79	27,01	25,17	23,73	22,91	21,82	22,11	22,17	24,31	24,49	25,66
2012	25,41	25,22	25,28	24,98	24,47	23,17	22,02	21,64	22,61	23,66	25,84	26,02
2013	26,61	26,58	26,85	26,00	24,36	23,46	22,47	22,22	23,33	24,64	25,52	25,87
2014	25,30	25,73	26,16	25,89	24,03	23,15	22,34	22,10	23,02	23,62	25,07	25,43
2015	25,97	26,11	26,26	26,88	25,44	23,43	22,82	22,51	23,88	24,74	26,27	26,00
2017	26,38	26,70	26,97	26,08	24,49	23,04	21,51	22,12	22,38	23,68	25,39	26,22

A verificação das temperaturas médias mensais extremas mostrou que o último ano a aparecer foi 2010, confirmando-se como TRY de Arapiraca. A verificação dos meses e anos com temperaturas extremas pode ser acompanhada no Quadro 39.

Quadro 39 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Arapiraca

Ordem	Condição	Ano	Ordem	Condição	Ano
1°	Nov mais quente	2009	13°	Nov mais frio	2011
2°	Jul mais frio	2017	14°	Jul mais quente	2015
3°	Out mais quente	2009	15°	Out mais frio	2014
4°	Ago mais frio	2012	16°	Ago mais quente	2015
5°	Mar mais quente	2011	17°	Mar mais frio	2012
6°	Set mais frio	2011	18°	Set mais quente	2009
7°	Abr mais quente	2015	19°	Abr mais frio	2012
8°	Jun mais frio	2011	20°	Jun mais quente	2013
9°	Fev mais quente	2017	21°	Fev mais frio	2012
10°	Mai mais frio	2011	22°	Mai mais quente	2015
11°	Jan mais quente	2013	23°	Jan mais frio	2014
12°	Dez mais frio	2014	24°	Dez mais quente	2009

- *Coruripe (2014)*

De acordo com as lacunas identificadas na Tabela 34

Tabela 34, os anos de 2010, 2016 e 2017 não participaram da análise para determinação do TRY de Coruripe por não possuírem todas as temperaturas médias mensais. As temperaturas médias de Coruripe são exibidas na Tabela 40.

Tabela 40 – Temperaturas médias mensais de Coruripe

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	26,62	26,16	27,17	26,83	25,17	24,55	23,97	23,84	24,67	25,98	26,27	26,82
2011	26,41	26,56	27,32	26,22	24,97	24,13	23,20	23,80	23,83	25,20	25,51	26,19
2012	26,14	26,18	26,28	26,05	25,36	24,34	23,30	23,05	23,85	24,64	25,98	26,39
2013	26,92	27,27	27,35	26,51	25,49	24,58	23,94	23,58	24,46	24,93	25,41	26,43
2014	26,50	26,64	26,78	26,68	25,28	24,55	23,72	23,55	24,13	24,68	25,65	28,48
2015	28,42	31,05	31,80	33,56	32,56	30,58	30,72	28,72	29,94	30,63	31,49	30,77
2018	27,11	27,55	28,01	27,60	26,38	25,29	24,48	24,31	25,05	25,99	26,56	27,30

A verificação das temperaturas médias mensais extremas mostrou que o último ano a aparecer foi 2014, confirmando-se como TRY de Coruripe. A verificação dos meses e anos com temperaturas extremas pode ser acompanhada no Quadro 40.

Quadro 40 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Coruripe

Ordem	Condição	Ano	Ordem	Condição	Ano
1°	Abr mais quente	2015	13°	Abr mais frio	2012
2°	Ago mais frio	2012	14°	Ago mais quente	2015
3°	Mai mais quente	2015	15°	Mai mais frio	2011
4°	Jul mais frio	2011	16°	Jul mais quente	2015
5°	Mar mais quente	2015	17°	Mar mais frio	2012
6°	Set mais frio	2011	18°	Set mais quente	2015
7°	Nov mais quente	2015	19°	Nov mais frio	2013
8°	Jun mais frio	2011	20°	Jun mais quente	2015
9°	Fev mais quente	2015	21°	Fev mais frio	2009
10°	Out mais frio	2012	22°	Out mais quente	2015
11°	Dez mais quente	2015	23°	Dez mais frio	2011
12°	Jan mais frio	2012	24°	Jan mais quente	2015

- *Maceió (2018)*

De acordo com as lacunas identificadas na Tabela 35, o ano de 2012 não participou da análise para determinação do TRY de Maceió por não possuir todas as temperaturas médias mensais. As temperaturas médias de Maceió são exibidas na Tabela 41.

Tabela 41 – Temperaturas médias mensais de Maceió

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	26,74	26,30	26,85	26,62	25,11	24,24	23,81	23,66	24,48	25,76	26,05	26,71
2010	26,15	26,79	27,03	26,67	25,85	24,78	23,90	23,26	23,78	25,34	25,80	26,43
2011	26,11	26,26	27,05	25,98	25,06	24,17	23,31	23,36	24,05	25,24	25,42	26,23
2013	26,66	27,14	27,28	26,55	25,29	24,43	23,71	23,61	24,27	24,88	25,17	26,09
2014	26,09	26,04	26,51	26,49	25,04	24,42	23,75	23,54	24,05	24,73	25,44	25,96
2015	26,32	26,50	26,74	27,22	25,96	24,50	23,91	23,75	24,42	25,05	26,12	26,35
2016	26,53	26,65	26,74	26,38	25,24	24,62	23,88	23,83	24,56	25,91	26,27	26,69
2017	26,78	27,15	27,23	26,58	25,40	24,40	23,13	23,31	23,86	24,95	25,74	26,47
2018	26,37	26,53	26,80	26,35	25,33	24,39	23,61	23,59	24,20	25,24	25,82	26,36

A verificação das temperaturas médias mensais extremas mostrou que o último ano a aparecer foi 2018, confirmando-se como TRY de Maceió. A verificação dos meses e anos com temperaturas extremas pode ser acompanhada no Quadro 41.

Quadro 41 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Maceió

Ordem	Condição	Ano	Ordem	Condição	Ano
1°	Mar mais quente	2013	13°	Mar mais frio	2014
2°	Jul mais frio	2017	14°	Jul mais quente	2015
3°	Abr mais quente	2015	15°	Abr mais frio	2011
4°	Ago mais frio	2010	16°	Ago mais quente	2016
5°	Fev mais quente	2017	17°	Fev mais frio	2014
6°	Set mais frio	2010	18°	Set mais quente	2016
7°	Jan mais quente	2017	19°	Jan mais frio	2014
8°	Jun mais frio	2011	20°	Jun mais quente	2010
9°	Dez mais quente	2009	21°	Dez mais frio	2014
10°	Out mais frio	2014	22°	Out mais quente	2016
11°	Nov mais quente	2016	23°	Nov mais frio	2013
12°	Mai mais frio	2014	24°	Mai mais quente	2015

- *Palmeira dos Índios (2010)*

De acordo com as lacunas identificadas na Tabela 36, os anos de 2011, 2013 e 2015 não participaram da análise para determinação do TRY de Palmeira dos Índios por não possuírem todas as temperaturas médias mensais. As temperaturas médias de Palmeira dos Índios são exibidas na Tabela 42.

Tabela 42 – Temperaturas médias mensais de Palmeira dos Índios

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	27,20	26,26	26,96	26,50	24,24	23,20	22,76	22,62	24,08	26,31	26,43	26,85
2010	26,31	26,54	27,40	25,85	25,21	23,37	22,37	21,84	22,67	25,13	26,03	26,72
2012	26,11	25,72	25,95	25,50	25,05	23,37	22,12	21,79	23,02	24,31	26,91	26,80
2014	26,34	26,16	26,51	26,31	24,18	23,14	22,27	22,11	23,30	23,74	25,52	25,89
2016	26,97	26,82	27,22	25,85	24,71	23,92	22,48	23,41	25,23	26,13	26,76	27,34
2017	27,03	27,35	27,69	26,36	24,83	23,06	21,28	22,19	22,31	23,80	26,07	26,75
2018	26,26	26,46	26,94	24,97	23,92	22,75	22,10	23,26	24,06	26,37	26,35	26,56

A verificação das temperaturas médias mensais extremas mostrou que o último ano a aparecer foi 2010, confirmando-se como TRY de Palmeira dos Índios. A verificação dos meses e anos com temperaturas extremas pode ser acompanhada no Quadro 42.

Quadro 42 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Palmeira dos Índios

Ordem	Condição	Ano	Ordem	Condição	Ano
1°	Mar mais quente	2017	13°	Mar mais frio	2012
2°	Jul mais frio	2017	14°	Jul mais quente	2009
3°	Fev mais quente	2017	15°	Fev mais frio	2012
4°	Ago mais frio	2012	16°	Ago mais quente	2016
5°	Dez mais quente	2016	17°	Dez mais frio	2014
6°	Set mais frio	2017	18°	Set mais quente	2016
7°	Jan mais quente	2009	19°	Jan mais frio	2012
8°	Jun mais frio	2018	20°	Jun mais quente	2016
9°	Nov mais quente	2012	21°	Nov mais frio	2014
10°	Out mais frio	2014	22°	Out mais quente	2018
11°	Abr mais quente	2009	23°	Abr mais frio	2018
12°	Mai mais frio	2018	24°	Mai mais quente	2010

- *Pão de Açúcar (2015)*

De acordo com as lacunas identificadas na Tabela 37, apenas os anos de 2009, 2015 e 2017 participaram da análise para determinação do TRY de Pão de Açúcar por possuírem todas as temperaturas médias mensais. As temperaturas médias de Pão de Açúcar são exibidas na Tabela 43.

Tabela 43 – Temperaturas médias mensais de Pão de Açúcar

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	29,76	28,81	29,97	28,64	25,99	24,77	24,18	24,13	25,40	28,24	28,67	29,02
2015	29,03	28,95	29,48	29,68	27,99	25,24	24,24	24,24	26,58	27,73	29,69	29,36
2017	27,03	28,99	29,79	28,66	26,63	24,57	22,76	23,79	24,19	26,58	28,76	29,53

A verificação das temperaturas médias mensais extremas mostrou que o último ano a aparecer foi 2015, confirmando-se como TRY de Pão de Açúcar. A verificação dos meses e anos com temperaturas extremas pode ser acompanhada no Quadro 43.

Quadro 43 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de Pão de Açúcar

Ordem	Condição	Ano	Ordem	Condição	Ano
1°	Mar mais quente	2009	13°	Mar mais frio	2015
2°	Jul mais frio	2017	14°	Jul mais quente	2015
3°	Jan mais quente	2009	15°	Jan mais frio	2017
4°	Ago mais frio	2017	16°	Ago mais quente	2015
5°	Nov mais quente	2015	17°	Nov mais frio	2009
6°	Set mais frio	2017	18°	Set mais quente	2015
7°	Abr mais quente	2015	19°	Abr mais frio	2009
8°	Jun mais frio	2017	20°	Jun mais quente	2015
9°	Dez mais quente	2017	21°	Dez mais frio	2009
10°	Mai mais frio	2009	22°	Mai mais quente	2015
11°	Fev mais quente	2017	23°	Fev mais frio	2009
12°	Out mais frio	2009	24°	Out mais quente	2009

- *São Luís do Quitunde (2016)*

De acordo com as lacunas identificadas na Tabela 38, os anos de 2011, 2014, 2015 e 2017 não participaram da análise para determinação do TRY de São Luís do Quitunde por não possuírem todas as temperaturas médias mensais. As temperaturas médias de São Luís do Quitunde são exibidas na Tabela 44.

Tabela 44 – Temperaturas médias mensais de São Luís do Quitunde

Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	26,62	26,15	26,68	26,49	25,18	24,19	23,71	23,56	24,43	25,69	25,89	26,57
2010	26,19	26,60	26,93	26,55	25,75	24,76	23,65	22,99	23,52	25,18	25,82	26,49
2012	25,68	25,70	25,68	25,24	24,94	23,89	23,08	22,75	23,47	24,54	25,85	26,26
2013	26,66	26,76	26,96	26,32	25,06	24,24	23,57	23,54	23,96	24,72	25,00	26,00
2016	26,43	26,14	26,40	25,87	24,92	24,16	23,23	23,26	24,14	25,37	25,99	26,41
2018	26,03	26,24	26,40	25,06	24,50	23,69	22,81	23,31	24,07	25,43	25,86	26,08

A verificação das temperaturas médias mensais extremas mostrou que o último ano a aparecer foi 2016, confirmando-se como TRY de São Luís do Quitunde. A verificação dos meses e anos com temperaturas extremas pode ser acompanhada no Quadro 44.

Quadro 44 – Verificação dos meses com temperaturas médias extremas de São Luís do Quitunde

Ordem	Condição	Ano	Ordem	Condição	Ano
1°	Mar mais quente	2013	13°	Mar mais frio	2012
2°	Ago mais frio	2012	14°	Ago mais quente	2009
3°	Fev mais quente	2013	15°	Fev mais frio	2012
4°	Jul mais frio	2018	16°	Jul mais quente	2009
5°	Jan mais quente	2013	17°	Jan mais frio	2012
6°	Set mais frio	2012	18°	Set mais quente	2009
7°	Dez mais quente	2009	19°	Dez mais frio	2013
8°	Jun mais frio	2018	20°	Jun mais quente	2010
9°	Abr mais quente	2010	21°	Abr mais frio	2018
10°	Out mais frio	2012	22°	Out mais quente	2009
11°	Nov mais quente	2016	23°	Nov mais frio	2013
12°	Mai mais frio	2018	24°	Mai mais quente	2010

APÊNDICE C: Distribuição da frequência de velocidade do vento e intensidade de precipitação

- *Arapiraca*

Gráfico 31 – Distribuição da frequência de velocidade do vento em Arapiraca

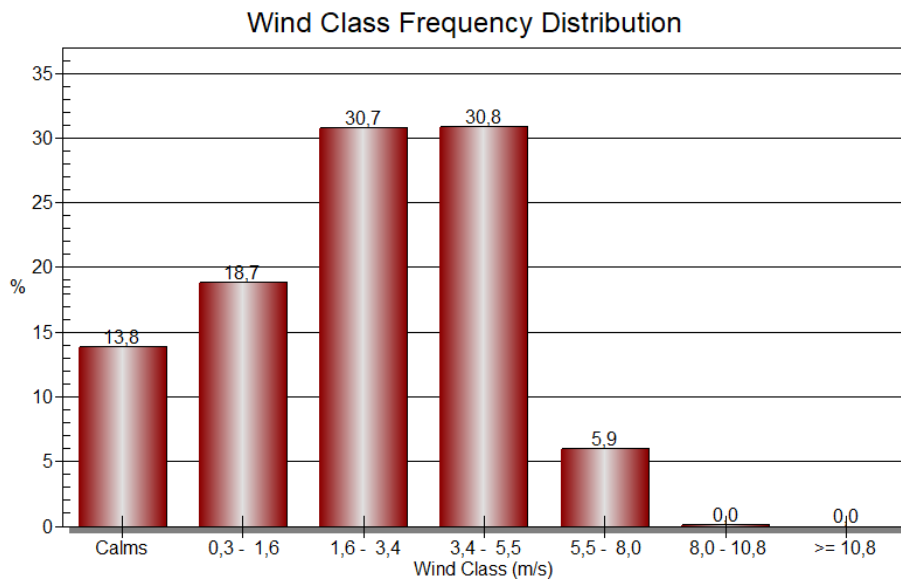
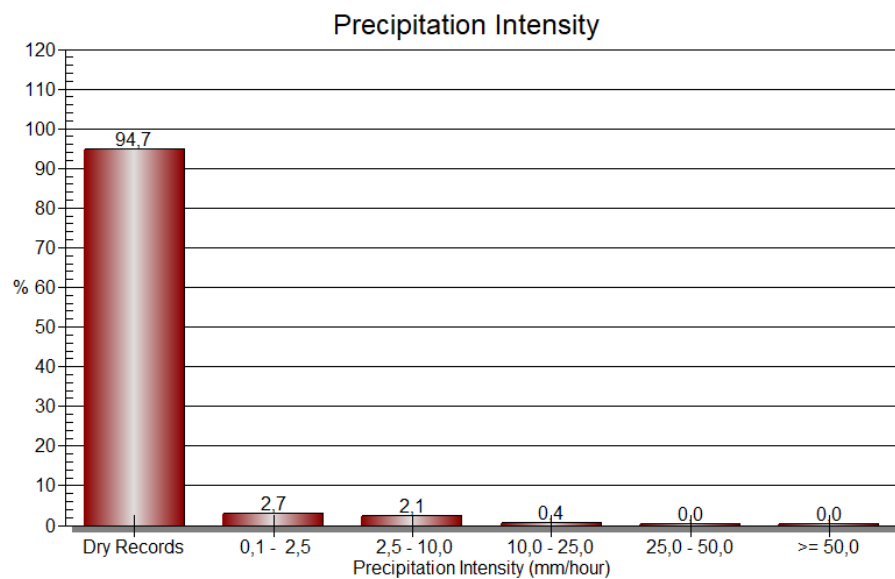


Gráfico 32 – Distribuição da frequência da intensidade de precipitação em Arapiraca



- *Coruripe*

Gráfico 33 – Distribuição da frequência de velocidade do vento em Coruripe

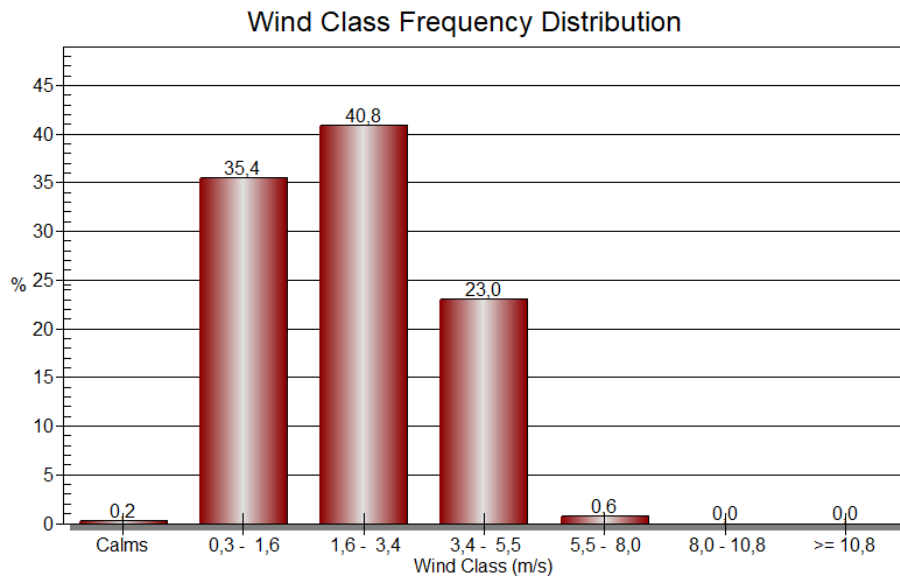
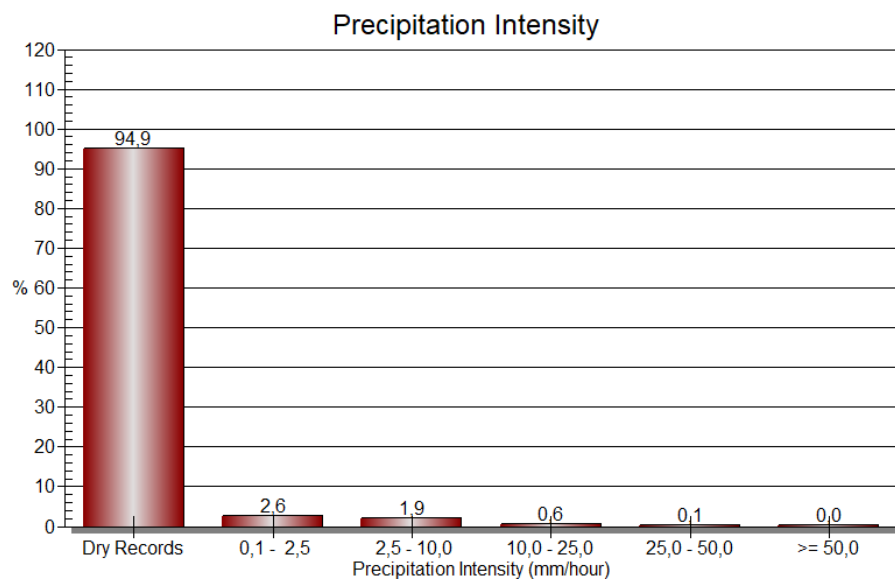


Gráfico 34 – Distribuição da frequência da intensidade de precipitação em Coruripe



- *Maceió*

Gráfico 35 – Distribuição da frequência de velocidade do vento em Maceió

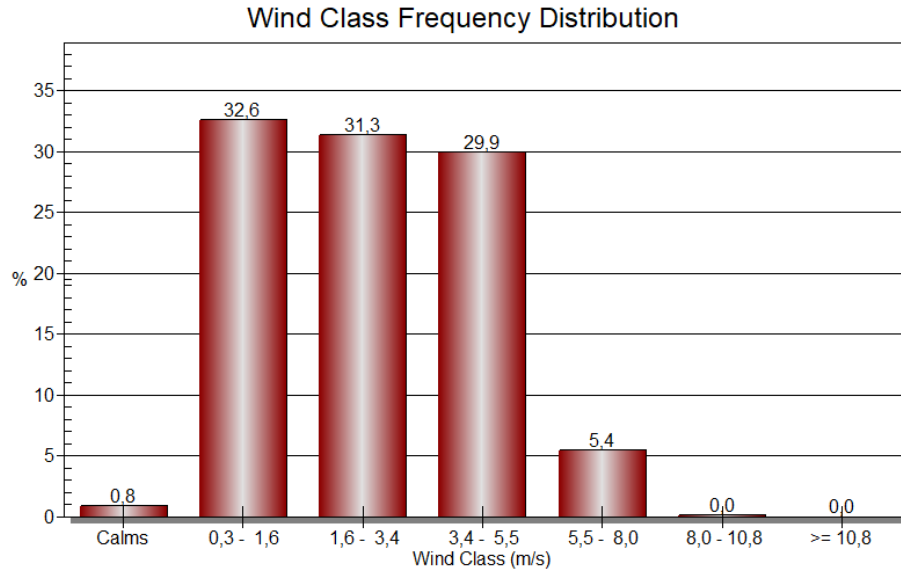
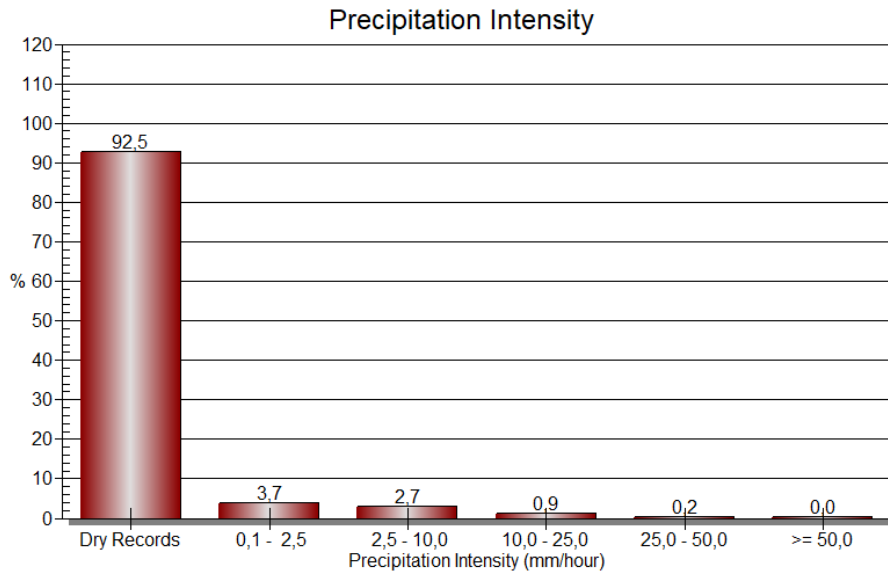


Gráfico 36 – Distribuição da frequência da intensidade de precipitação em Maceió



- *Palmeira dos Índios*

Gráfico 37 – Distribuição da frequência de velocidade do vento em Palmeira dos Índios

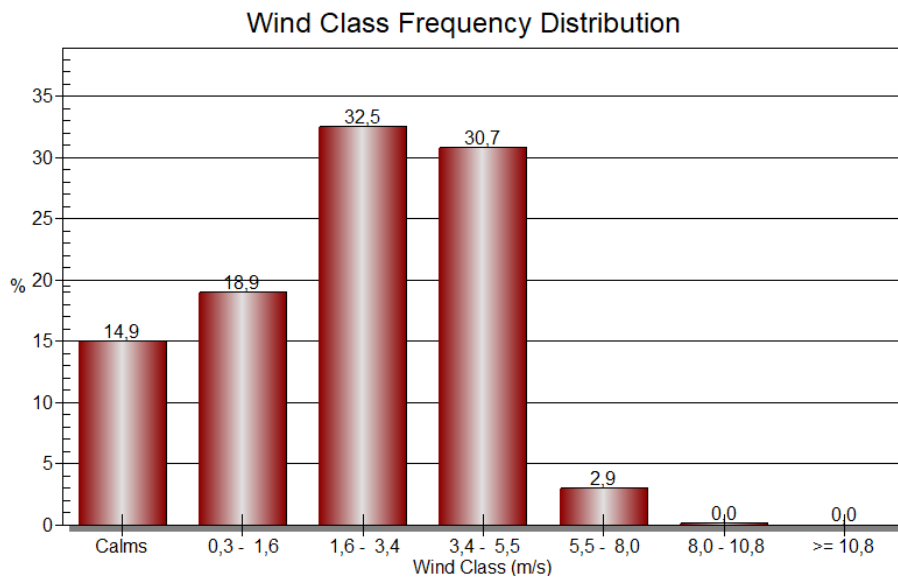
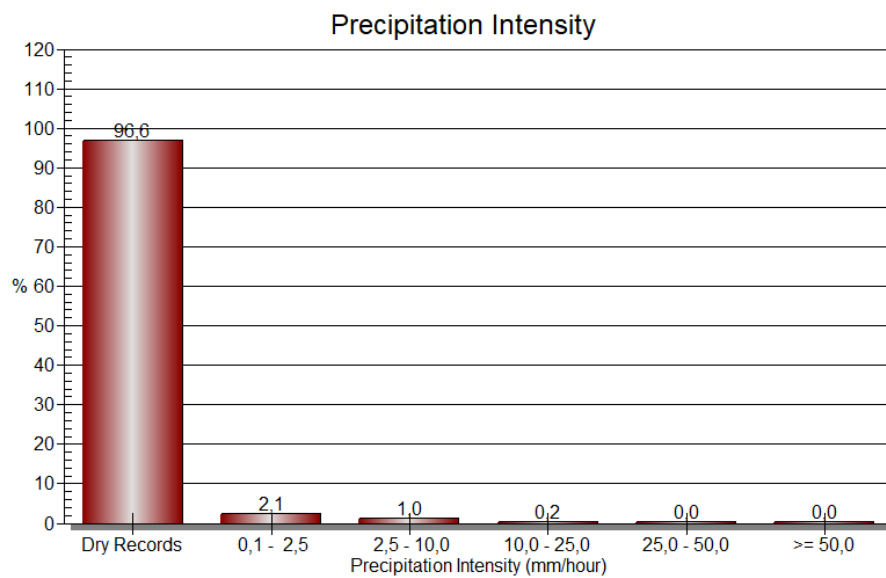


Gráfico 38 – Distribuição da frequência da intensidade de precipitação em Palmeira dos Índios



- Pão de Açúcar

Gráfico 39 – Distribuição da frequência de velocidade do vento em Pão de Açúcar

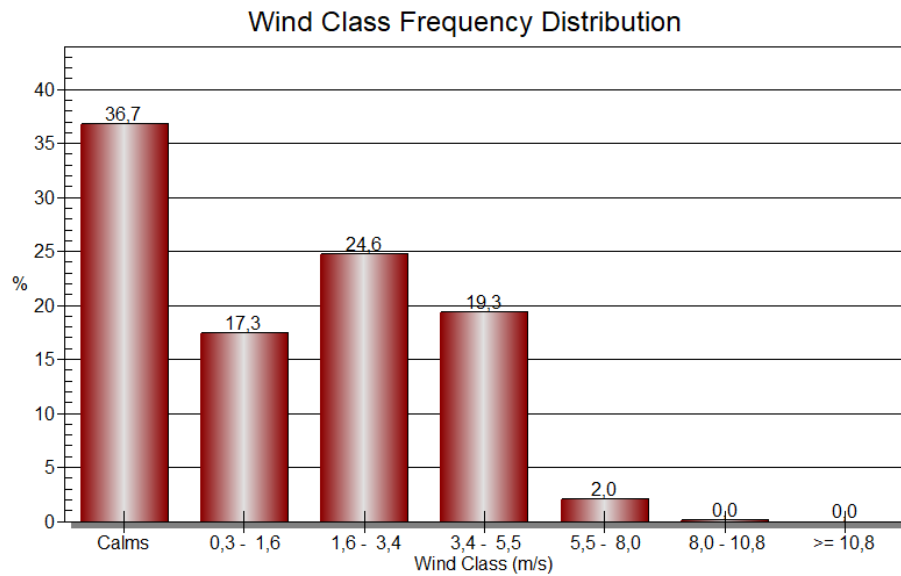
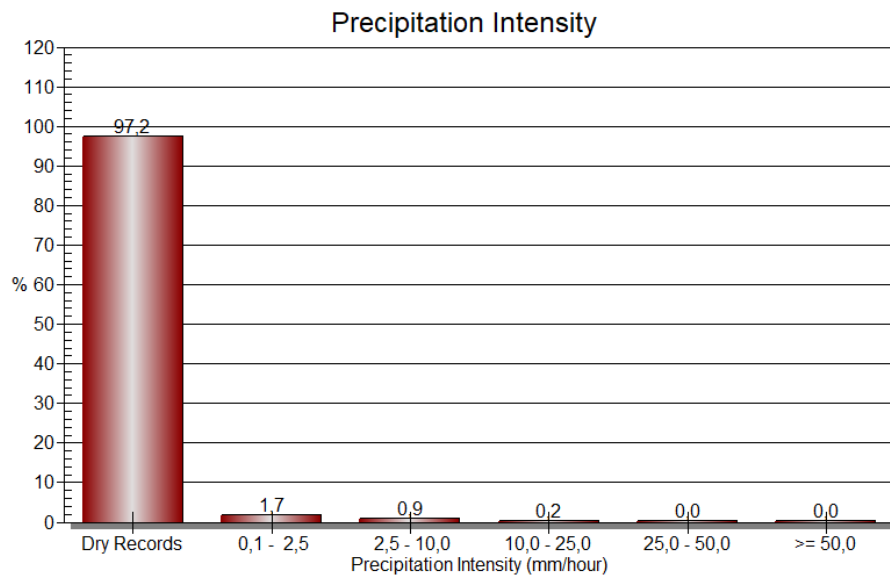


Gráfico 40 – Distribuição da frequência da intensidade de precipitação em Pão de Açúcar



- *São Luís do Quitunde*

Gráfico 41 – Distribuição da frequência de velocidade do vento em São Luís do Quitunde

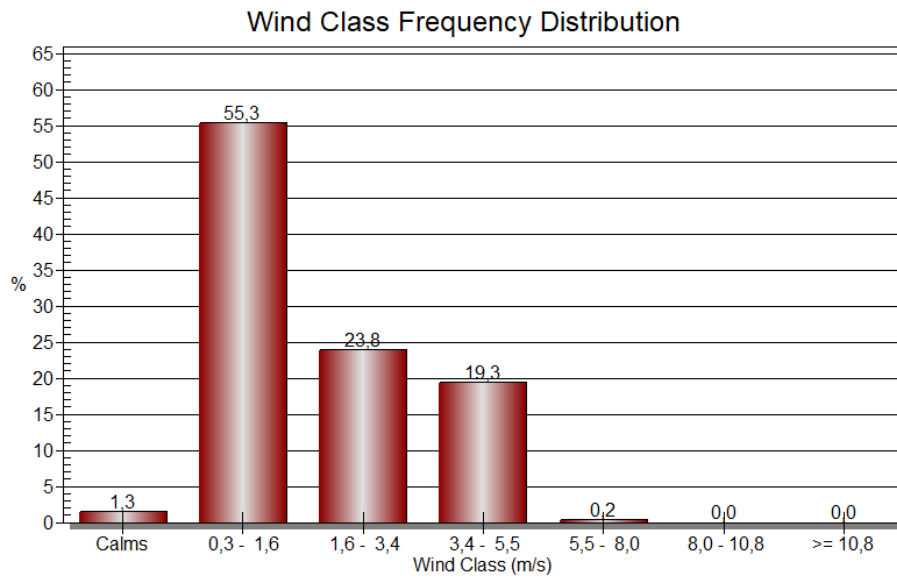
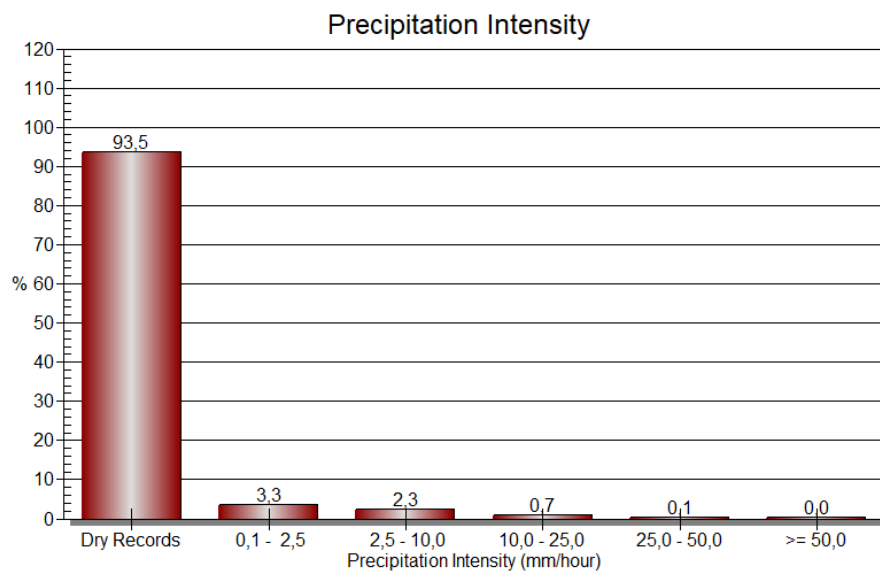


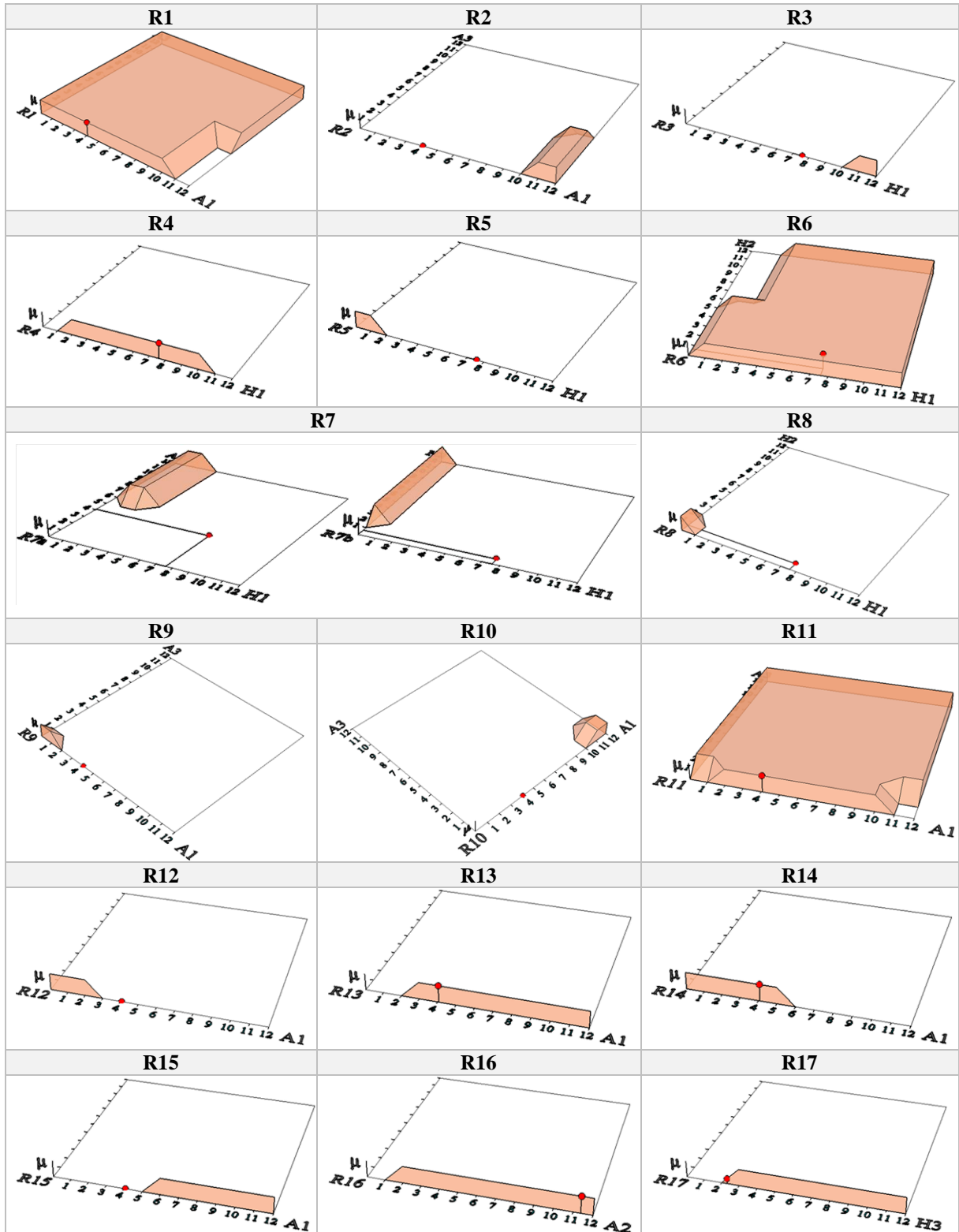
Gráfico 42 – Distribuição da frequência da intensidade de precipitação em São Luís do Quitunde



APÊNDICE D: Modelagens das recomendações projetuais do MMN

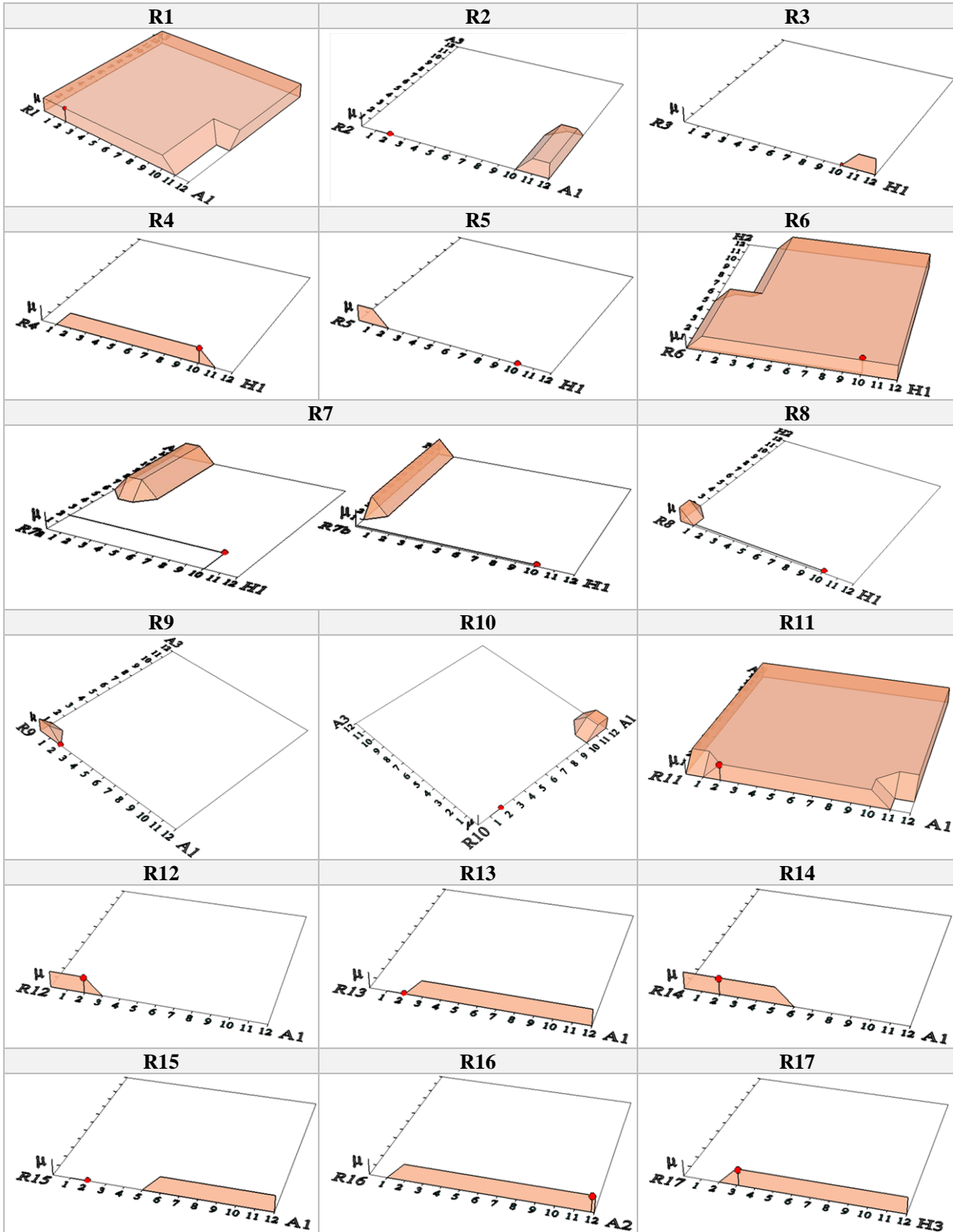
- *Arapiraca*

Quadro 45 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Arapiraca



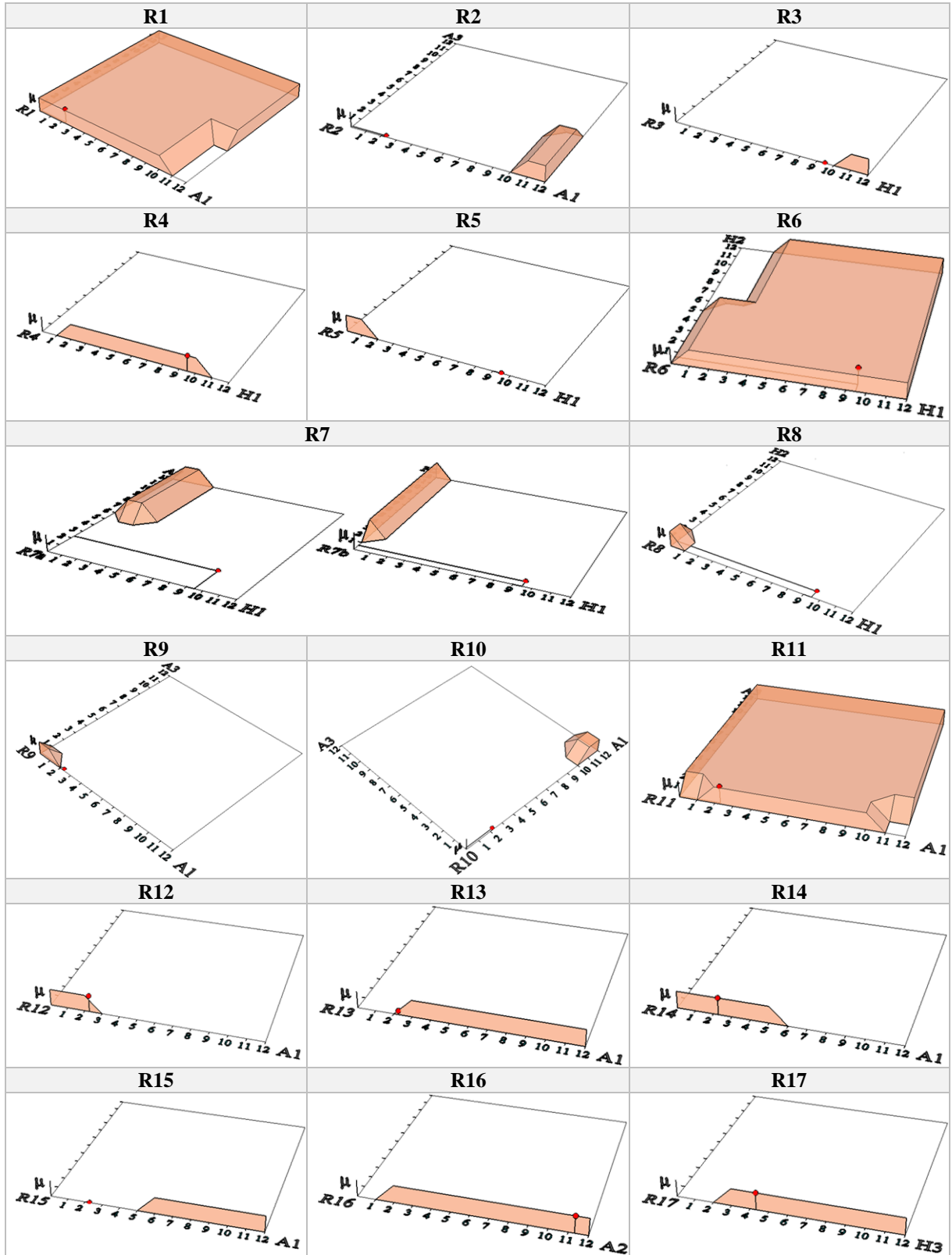
- *Coruripe*

Quadro 46 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Coruripe



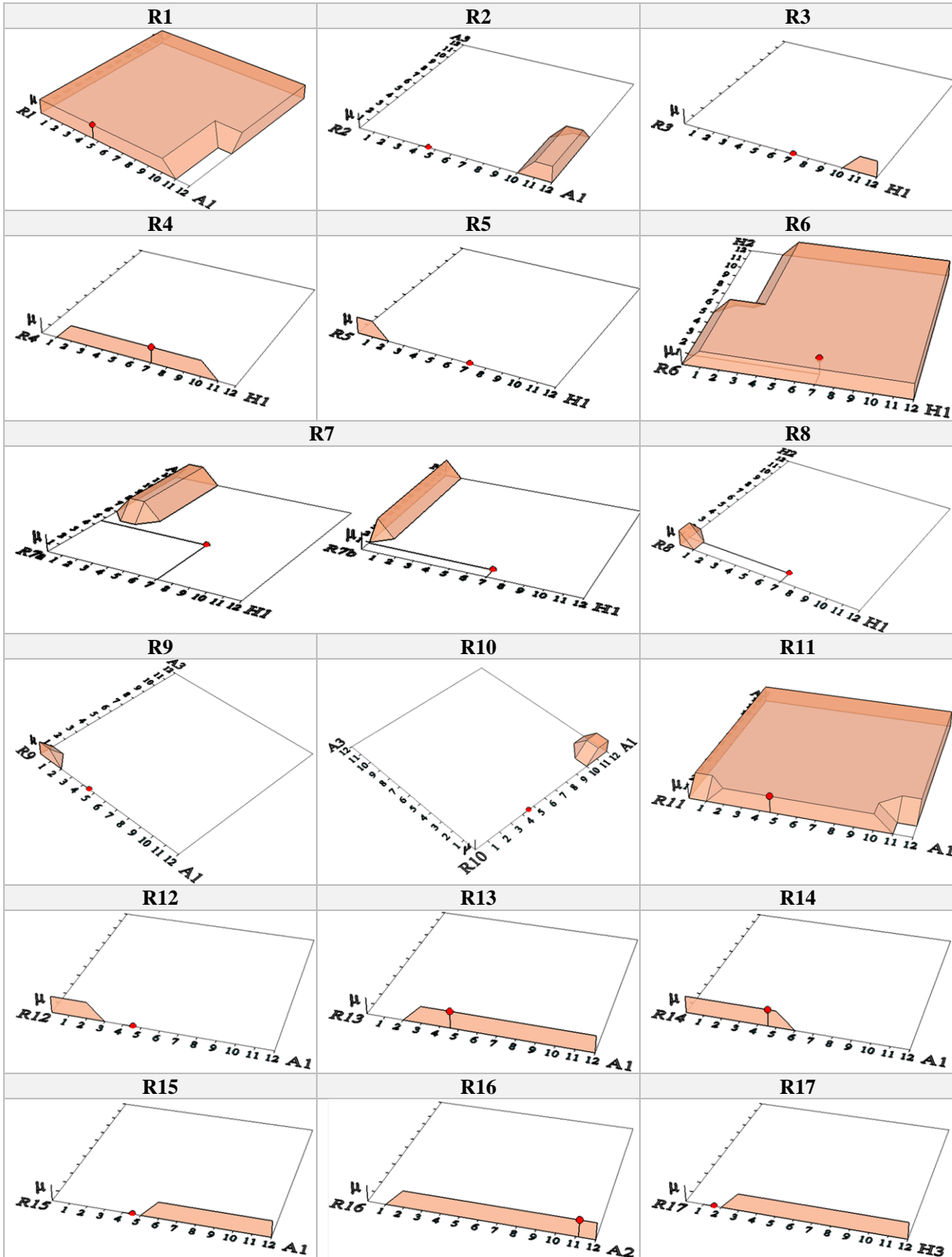
- Maceió

Quadro 47 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Maceió



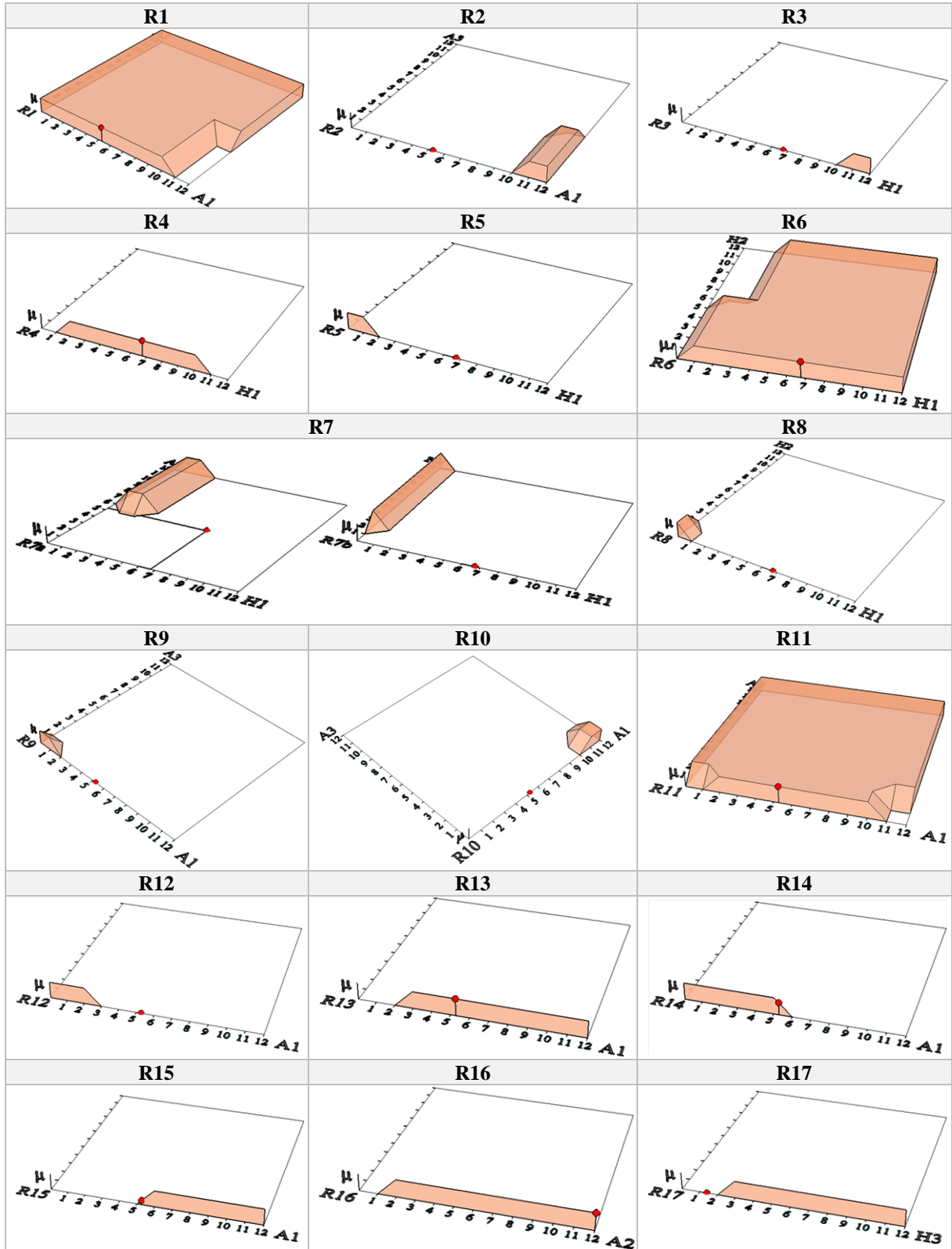
- *Palmeira dos Índios*

Quadro 48 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Palmeira dos Índios



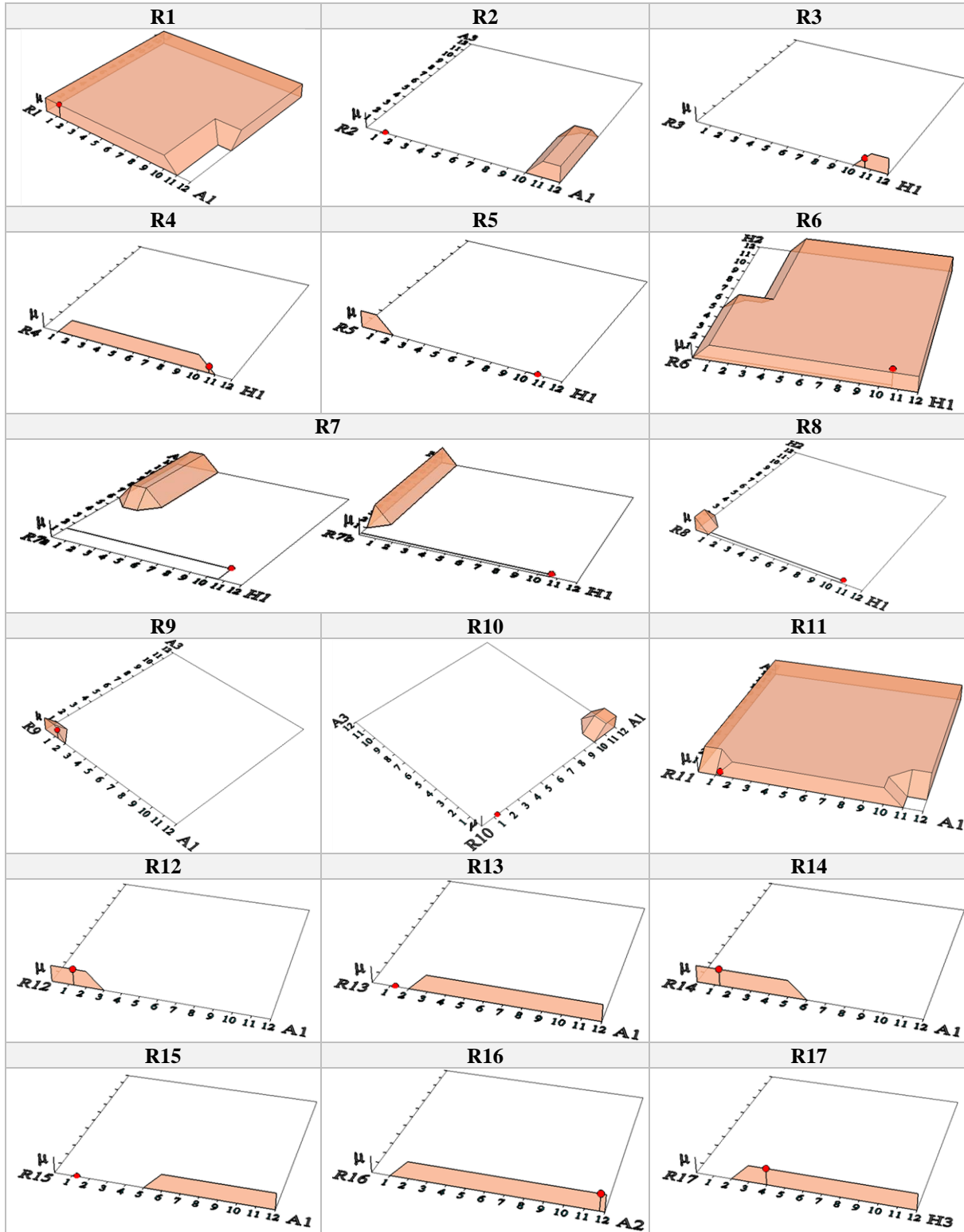
- *Pão de Açúcar*

Quadro 49 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para Pão de Açúcar



- São Luís do Quitunde

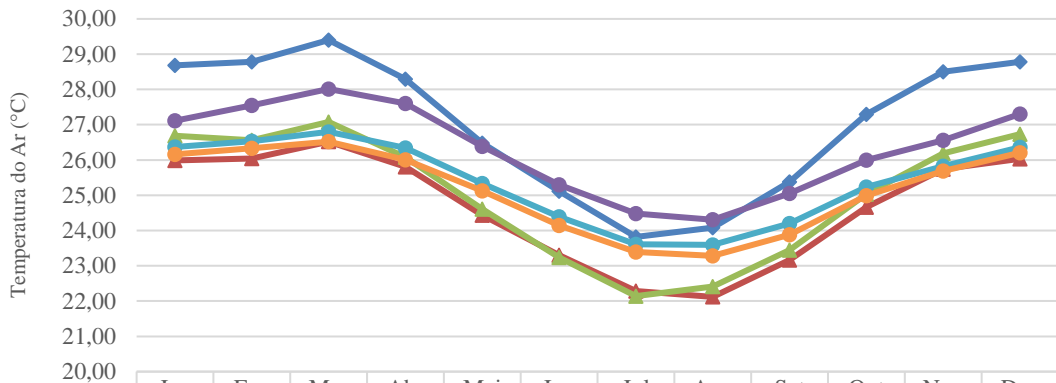
Quadro 50 – Modelagens das recomendações projetuais do MMN para São Luís do Quitunde



APÊNDICE E: Gráficos comparativos entre as cidades estudadas

- *Temperatura Média do Ar*

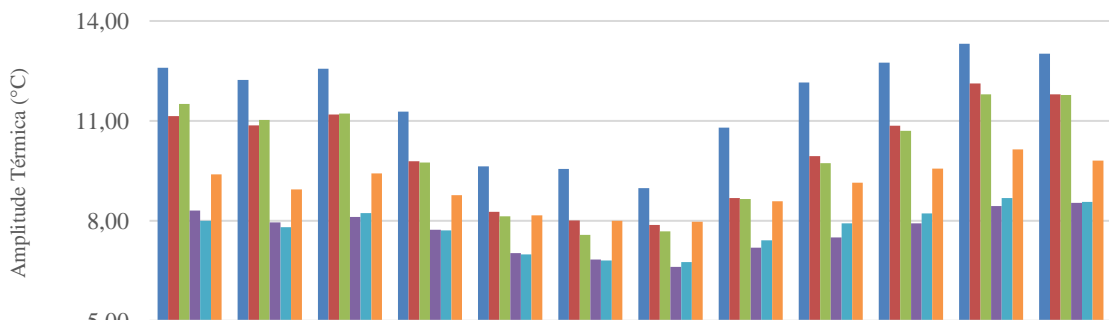
Gráfico 43 – Temperaturas médias do ar das seis cidades estudadas



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
◆ P. Açúcar	28,69	28,79	29,40	28,30	26,48	25,11	23,82	24,08	25,38	27,30	28,50	28,78
▲ Arapiraca	25,99	26,05	26,52	25,81	24,43	23,30	22,29	22,12	23,16	24,66	25,75	26,03
▲ P. Índios	26,69	26,56	27,08	26,08	24,61	23,24	22,14	22,41	23,45	25,03	26,19	26,73
● Coruripe	27,11	27,55	28,01	27,60	26,38	25,29	24,48	24,31	25,05	25,99	26,56	27,30
● Maceió	26,37	26,53	26,80	26,35	25,33	24,39	23,61	23,59	24,20	25,24	25,82	26,36
● S. L. Quitunde	26,16	26,34	26,52	26,01	25,13	24,15	23,39	23,28	23,89	24,99	25,68	26,21

- *Amplitude Térmica do Ar*

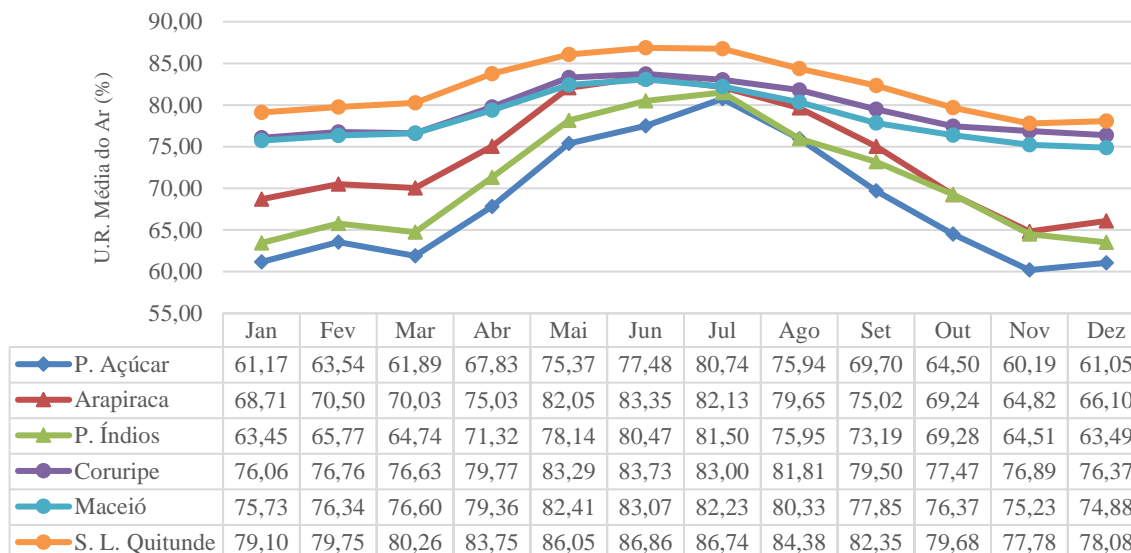
Gráfico 44 – Amplitudes térmicas médias das seis cidades estudadas



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
■ P. Açúcar	12,59	12,23	12,56	11,28	9,63	9,56	8,98	10,80	12,15	12,75	13,32	13,02
■ Arapiraca	11,14	10,87	11,20	9,79	8,27	8,01	7,88	8,68	9,94	10,86	12,13	11,80
■ P. Índios	11,51	11,03	11,22	9,75	8,14	7,58	7,68	8,65	9,74	10,71	11,80	11,78
■ Coruripe	8,31	7,96	8,12	7,74	7,03	6,84	6,62	7,20	7,51	7,93	8,44	8,54
■ Maceió	8,01	7,81	8,23	7,72	7,00	6,81	6,76	7,42	7,93	8,23	8,69	8,57
■ S. L. Quitunde	9,40	8,95	9,42	8,78	8,16	8,00	7,97	8,59	9,14	9,57	10,15	9,81

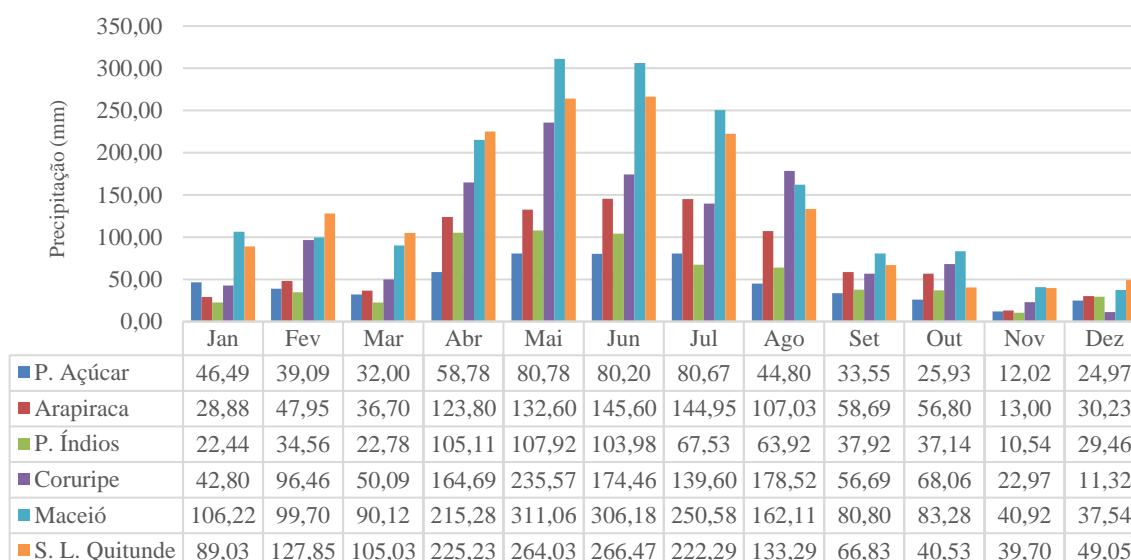
• *Umidade Relativa do Ar*

Gráfico 45 – Umidades relativas médias do ar das seis cidades estudadas



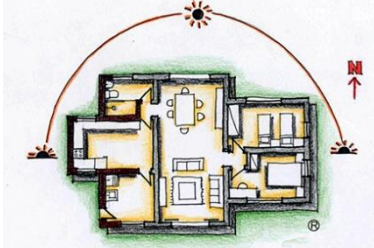


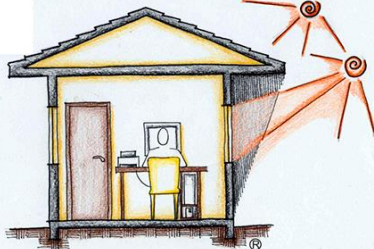
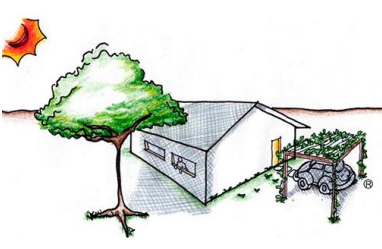
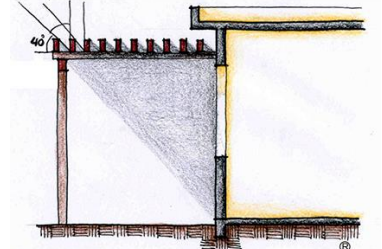
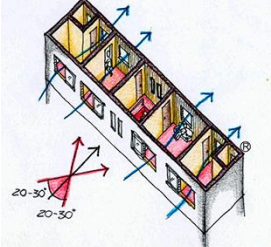
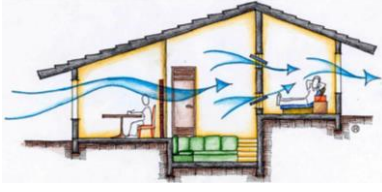
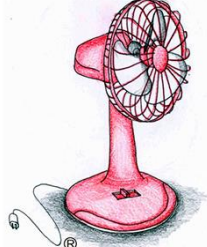
• *Precipitação*

Gráfico 46 – Totais pluviométricos médios das seis cidades estudadas



APÊNDICE F: Ilustração das estratégias bioclimáticas

Quadro 51 – Ilustração das estratégias bioclimáticas

Traçado		
		
<p>Planta baixa de habitação com eixo longitudinal L/O, podendo sofrer inclinações de modo a aproveitar melhor a ventilação, e ambientes de baixa permanência a Oeste</p>		
Espaçamento		
		
<p>Espaços abertos entre as edificações, com proteção (vegetação) contra ventos quentes⁴⁶</p>	<p>Espaços abertos entre edificações sem obstáculos, vegetação pode ser usada para direcionar os ventos</p>	
Sombreamento (de modo a não prejudicar a iluminação e a ventilação naturais)		
		
<p>Beirais (podendo assumir a função de proteção contra as chuvas intensas, quando necessário)</p>	<p>Arborização</p>	<p>Pérgolas</p>
Ventilação cruzada (quando TM externa < 32°C)		
		
<p>Esquadrias ajustáveis em paredes opostas priorizando as direções dos ventos predominantes</p>	<p>Planta aberta (com poucas divisórias)</p>	<p>Ventilação mecânica auxiliar (para momentos de calma)</p>

⁴⁶ Fonte da imagem: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013

Quadro 51 – Ilustração das estratégias bioclimáticas (continuação)

Aberturas		
Medianas (A=20-40%) ⁴⁷	Grandes (A=40-80%)	
Vedações		
Parede leve e refletora (cores claras) ⁴⁸	Parede verde (vegetação agindo como isolante térmico)	Cobertura leve, refletora (cor clara) e isolada, podendo ser ventilada
Resfriamento evaporativo		
Cobertura vegetal no entorno da edificação	Áreas gramadas ou arborizadas	
Ventilação noturna		
Passagem de brisa fresca noturna	Pode ser obtida por meio de insufladores ou exaustores de ar na falta de ventos durante a noite	
Ar condicionado opcional (para dias de calor extremo)		
Atentar para a eficiência do aparelho e para as vedações do ambiente condicionado		
Fonte: ProjetEEE (imagens)		

⁴⁷ Fonte da imagem: MARTINS; BITTENCOURT; KRAUSE, 2012

⁴⁸ Fonte da imagem: Dodora Matos. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.dodoramatos.com/2018/08/24/sistemas-construtivos-inercia-termica-e-estrategias-no-conforto-de-interiores/>> Acesso em 15 de abril de 2019.