



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PEDRO FELIPE CAVALCANTI DOS SANTOS

**MICROCLIMAS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE-PE: proposta de zoneamento  
sob o enfoque do conforto térmico**

Recife

2018

PEDRO FELIPE CAVALCANTI DOS SANTOS

**MICROCLIMAS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE-PE: proposta de zoneamento  
sob o enfoque do conforto térmico**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Área de concentração:** Dinâmica superficial e climática das paisagens naturais e tropicais úmidas e semiáridas.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.

Recife

2018

Catálogo na fonte  
Bibliotecária : Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

S237m Santos, Pedro Felipe Cavalcanti dos.  
Microclimas urbanos na cidade do Recife-PE : proposta de zoneamento sob o enfoque do conforto térmico / Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos. – 2018.  
149 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.  
Programa de Pós-graduação em Geografia, Recife, 2018.  
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Climatologia. 3. Climatologia urbana - Recife. 4. Ilha de calor urbana - Recife. I. Nóbrega, Ranyére Silva (Orientador). II. Título

918 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2018-243)

PEDRO FELIPE CAVALCANTI DOS SANTOS

**MICROCLIMAS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE-PE: proposta de zoneamento  
sob o enfoque do conforto térmico**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 27/02/2018.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Orientador – Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira Zamparoni (Examinadora Externa)  
Universidade Federal do Mato Grosso

---

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Moura (Examinador Externo)  
Universidade Federal da Paraíba

Dedico esse trabalho para minhas famílias, todas elas. Dedico às pessoas que amo, todas elas. Dedico para aqueles que sempre estarão comigo em lugares e histórias. Dedico para aqueles que seguirão marcados para sempre pelo amor que compartilhamos. Dedico especialmente para Sandra Maria Cavalcanti de França, minha mãe, José Edson dos Santos, meu pai, e Ana Karolina Cavalcanti dos Santos, minha irmã.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos tecerei em primeiro lugar à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. Sem o financiamento da Fundação nada seria escrito nas páginas desse trabalho.

Ao Departamento de Ciências Geográficas da UFPE agradeço com muito carinho e muito zelo. Esse departamento é minha segunda casa há 7 anos. Se transformou também em uma parte de minha família.

Ao meu orientador, Ranyére Silva Nóbrega, que pode ser definido como um homem de bons conselhos. Sem as palavras amigas e profissionais desse grande cientista, minha curiosidade e ansiedade em pesquisas tornaria o meu trabalho um caos desorganizado. Por isso o meu agradecimento é mais do que científico e pelas oportunidades que me foram dadas, é o agradecimento de um filho para um pai cientista que a UFPE me proporcionou.

Tomo emprestado a frase célebre de Issac Newton, repito-a nesse instante, pois esse trabalho jamais teria sido realizado se não tivesse apoiado no ombro de gigantes.

Os gigantes que ajudaram na feitura dessa pesquisa pertencem ao Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos, conhecido como Tropoclima. A esse grupo pertencem pessoas de honorável caráter e de grande talento.

Ayobami Badiru Moreira, uma das pessoas mais doces e competentes que eu já conheci. Sem a ajuda dessa grande profissional eu não conseguiria terminar esse trabalho. Agradeço-te com todo meu carinho.

Professora Cleuza Zamparoni, sua generosidade e carinho só pode ser observada em pessoas de muita humildade e de grande coração. Obrigado pelas conversas interessadas, pelos conselhos e por participar desse trabalho.

Aos membros antigos do Tropoclima. Deivide Soares, Elvis Moreira, Lucas Suassuna, Rafael Farias, Rafael dos Anjos, Tainã Lins e Caio Diaz que são meus companheiros de pesquisa desde o começo, pesquisadores da maior empolgação e capacidade. E aos recentes, que também contribuíram muito para esse estudo, Caio Almeida, Tamires Mendes, Geraldo Falcão e Tanelly Santos.

Agradeço em especial a Jéssica de Freitas Silva pela ajuda na revisão desse trabalho e por todo apoio dedicado durante a realização dessa pesquisa.

## RESUMO

Os estudos de clima urbano se tornaram vitais para planejadores e cientistas interessados no desenvolvimento dos ambientes urbanos. No Nordeste brasileiro é cada vez maior o número de estudos que visam entender o funcionamento do clima na escala da cidade. A cidade do Recife não foge as características dos grandes centros urbanos brasileiros, com assentamentos populacionais pouco planejados, a cidade se tornou uma mescla de morfologias urbanas espontâneas. O presente trabalho teve tem como objetivo avaliar as relações entre o canal termodinâmico e as diferentes morfologias urbanas da cidade do Recife, discriminando suas causas, particularidades e avaliando as possíveis interferências dos sistemas socioeconômicos e naturais na formação das ilhas de calor e ambientes termicamente desconfortáveis. O primeiro passo para o estudo foi a instalação de 8 estações contendo termohigrômetros da marca HOBO U23 PRO. A coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar durou 3 meses, indo de novembro de 2015 a janeiro de 2016. Para melhor entender os resultados obtidos através dos termohigrômetros, dados meteorológicos e socioeconômicos foram buscados junto aos órgãos governamentais, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Instituto Nacional de Meteorologia e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. A partir dos dados recolhidos, o índice de temperatura e umidade foi calculado e analisado através de comparação e estatística. Os resultados apontaram uma maior quantidade de precipitação no setor oeste e norte da cidade. Dentre os meses estudados (de novembro/2015 a janeiro/2016), o mês de janeiro foi observado como o mais chuvoso. A umidade do ar seguiu o mesmo padrão das chuvas, tendo o setor oeste com maior percentual. As temperaturas se comportaram a partir da morfologia urbana de cada estação e de acordo com os horários. As áreas com menor densidade urbana e maiores áreas vegetadas apresentaram menores temperaturas. A diferença de temperatura entre as estações localizadas em zonas de menor densidade urbana atingiu um índice de conforto térmico considerável. Durante o dia o índice de conforto térmico na cidade se mostrou homogêneo, destacando-se as estações próximas de corpos hídricos, como o oceano e os rios, pelos menores valores. Ao final das análises de conforto térmico foi elaborado um zoneamento climático da cidade baseado nas características ambientais de cada estação instalada.

Palavras-chave: Clima Urbano. Conforto Térmico. Ilha de Calor.

## **ABSTRACT**

Urban climate studies have become vital for planners and scientists interested in the development of urban environments. In the Northeast of Brazil, there is a growing number of studies aimed at understanding the functioning of the climate in the city scale. The city of Recife does not escape the characteristics of the great Brazilian urban centers, with little planned population settlements, the city became a mixture of spontaneous urban morphologies. The present work had as objective to evaluate the relations between the thermodynamic channel and the different urban morphologies of the city of Recife, discriminating its causes, particularities and evaluating the possible interferences of the socioeconomic and natural systems in the formation of heat islands and thermally uncomfortable environments. The first step for the study was the installation of 8 stations containing thermo-hygrometers of the brand HOBO U23 PRO. The data collection of temperature and relative humidity of the air lasted 3 months, going from November 2015 to January 2016. To better understand the results obtained through the thermo-hygrometers, meteorological and socioeconomic data were sought from government agencies such as the Brazilian Institute of Geography and Statistics, the National Institute of Meteorology and the National Center for Natural Disaster Monitoring and Alerts. From the data collected, the temperature and humidity index were calculated and analyzed through comparison and statistics. The results indicated a greater amount of precipitation in the west and north of the city. Among the months studied (from November/2015 to January/2016), the month of January was observed as the rainy season. The humidity of the air followed the same pattern of rainfall, with the western sector with the highest percentage. The temperatures behaved from the urban morphology of each season and according to the schedules. The areas with lower urban density and larger vegetated areas showed lower temperatures. The temperature difference between the stations located in zones of lower urban density reached a considerable thermal comfort index. During the day the thermal comfort index in the city was homogeneous, standing out the stations near water bodies, like the ocean and the rivers, for the smaller values. At the end of the thermal comfort analyzes a climatic zoning of the city was elaborated based on the environmental characteristics of each installed station.

**Keywords:** Urban Climate. Termal Confort. Heat Island.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	CONFORTO TÉRMICO .....	15
1.2	ÁREA DE ESTUDO .....	18
1.3	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS .....	21
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivos gerais .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
2.1	MATERIAIS .....	22
2.2	MÉTODOS .....	23
<b>2.2.1</b>	<b>Índice de (des)conforto térmico ambiental .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Método estatístico .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Parâmetros para zoneamento microclimático .....</b>	<b>27</b>
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
<b>2.3.1</b>	<b>Caracterização das estações de coleta de dados .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Características geoambientais e paisagens .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Da cidade mangue à metrópole regional .....</b>	<b>46</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
3.1	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO .....	62
3.2	PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES .....	70
3.3	ANÁLISE DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS .....	72
<b>3.3.1</b>	<b>Cobertura de nuvens .....</b>	<b>72</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Pressão atmosférica .....</b>	<b>73</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Radiação solar .....</b>	<b>74</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Direção do vento .....</b>	<b>75</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Velocidade e rajada de vento .....</b>	<b>76</b>
3.4	TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR .....	78
<b>3.4.1</b>	<b>Temperatura mensal média .....</b>	<b>78</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Umidade relativa do ar média .....</b>	<b>82</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Temperatura e umidade relativa do ar nos períodos .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Temperatura e umidade relativa do ar nas médias horárias .....</b>	<b>93</b>

3.5	ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE .....	103
<b>3.5.1</b>	<b>Índice de temperatura e umidade nos períodos .....</b>	<b>107</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Índice de temperatura e umidade nas médias horárias .....</b>	<b>111</b>
3.6	INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS NO ITU .....	119
3.7	EVENTOS CLIMÁTICOS E SUAS REPERCUSSÕES NO ITU .....	126
3.8	ZONEAMENTO MICROCLIMÁTICO PARA A CIDADE DO RECIFE .....	140
4	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>143</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>144</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Monteiro (1976, 2011) refere-se a ilha de calor urbana (ICU) como uma anomalia térmica na qual a temperatura do ar na camada intraurbana da atmosfera, que caracteriza-se por ser superior à da vizinhança rural. Esse incremento de temperatura é causado principalmente pelo calor armazenado e reemitido pelos complexos de urbanização que concentram materiais de grande potencial energético, alterando os fluxos de ventos e de radiação. Como complemento, Taha (1997) afirma que a baixa taxa de evapotranspiração nos ambientes urbanos, devido à retirada da vegetação e pavimentação das superfícies, é o grande causador do incremento das temperaturas do ar durante o dia.

O espaço urbano interage e altera as características dos climas locais tanto em áreas tropicais como em climas frios, assim como nos temperados, bem como apontou o estudo de Holmer e Thorsson (2009), indicando os impactos urbano-climáticos nas cidades de Göteborg, na Suécia, e de Ouagadougou em Burkina Faso. No Brasil, o estudo de Vasconcelos e Zamparoni (2011) para a cidade de Cuiabá/MT, é um exemplo marcante.

Monteiro (1976) propôs a terminologia Sistema Clima Urbano (SCU) para denominar um sistema singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e passível de auto regulação, que abrange um clima local (fato natural) e a cidade (fato social). Dessa forma, o sistema clima urbano considera os seus subsistemas naturais e todas as influências dos fatores socioeconômicos.

O autor indica que a atmosfera age como operador do sistema urbano-climático, tudo o que não é atmosférico e que se concretiza no espaço urbano, incluindo o homem e demais seres vivos, constitui elementos do sistema, estruturando-se em partes que, através de suas reações, definem atributos especiais. Assim, esse conjunto complexo e estruturado constitui o operando do sistema.

Monteiro (1976) define que a participação urbana no desempenho do SCU produz variados e heterogêneos elementos, classificados em três subsistemas através de canais de percepção humana: O termodinâmico (conforto térmico), o físico-químico (qualidade do ar) e o hidrometeorológico (impacto pluvial).

O canal termodinâmico é o foco do presente trabalho, pois as componentes termodinâmicas do clima não só conduzem ao referencial básico para a ação do conforto térmico urbano como são, antes de tudo, a constituição do nível fundamental de resolução

climática para onde convergem e se associam todas as outras componentes (MONTEIRO, 1976).

“Dentro do sistema clima urbano, esse canal atravessa toda a sua estrutura, pois que é o insumo básico, é transformado na cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida atuante no sistema. O uso do solo, a morfologia urbana, bem como suas funções, estão intimamente implicados no processo de transformação e produção” (MONTEIRO, 2011, p. 44).

No Nordeste brasileiro os trabalhos aplicados ao campo termodinâmico são maioria, como apontado por Zanela e Moura (2013). Os autores comentam que prevalecem às pesquisas aplicadas na forma de experimentos episódicos de campo, com escala espacial microclimática, variando no nível de 1 a 2 metros do solo, com coletas em pontos fixos e mensurações obtidas tanto por aparelhagem mecânica como por meio de sensores digitais.

Na formação do espaço urbano, podemos entender a ação dos agentes sociais, que materializam os processos sociais na forma de um ambiente construído, seja a rede urbana, seja o espaço intraurbano (CORRÊA, 2013), como “energias” que potencializam a reprodução desse espaço. Por exemplo, no sistema migração rural-urbana, a energia potencial pode ser considerada como os estímulos que atuam sobre os indivíduos do setor rural a fim e movimentá-los (CHRISTOFOLETTI, 1979).

No contexto do sistema urbano, o aumento da população promove a modernização dos seus serviços que, por sua vez, é estímulo atrativo para a migração. O intensificar da migração promove o aumento da população gerando um mecanismo de retroalimentação (*feedback*) (CHRISTOFOLETTI, 1979). Esse mecanismo pode ser aplicado quando observamos os investimentos, públicos ou privados, em futuras áreas de expansão urbana, que valorizam os terrenos, permitindo a obtenção de maior lucro na venda destes em função dos investimentos realizados na área (GOMES e ALBUQUERQUE, 2013).

Esses mecanismos alimentadores de processos, principalmente aqueles em que as parcerias público-privadas atuam, os que propõem o espaço como mercadoria, como traz Carlos (2013), destituído de seu valor de uso, esse tipo de política comercial do espaço torna a cidade desigual em aspectos morfológicos caracterizados pelos poderes econômicos. Nesse sentido, as desigualdades sociais equivalem às desigualdades regionais (MONTEIRO, 1995),

dividindo a cidade em características econômicas e funcionais observadas nas diferentes paisagens.

Essas diferentes características paisagísticas são os principais fatores formadores dos diferentes climas nas áreas urbanas. A morfologia (a forma da paisagem), que leva em consideração as formas ditas naturais e humanas; e os fluxos (a paisagem móvel), responsáveis pelos *feedbacks* socioeconômicos e naturais; todos esses fatores juntos formam o complexo sistema climático urbano, que pode ser observado em diferentes escalas.

Monteiro (2011) estabelece três escalas de análises dentro do SCU, mesoclimática, topoclimática e microclimática como parâmetros de análise (**Quadro 1**).

**Quadro 1** - Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano

Unidades de superfície	Escalas cartográficas de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Meios de observação	Fatores de organização
Centenas de km	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole.	Registros móveis	Urbanismo
Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade, fáceis de bairro/subúrbio da cidade.	(Detalhe)	Arquitetura
Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação, setor de habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação

Fonte - Monteiro (2011), adaptado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

O **Quadro 2** apresenta a articulação do sistema climático urbano dentro do canal de percepção termodinâmico.

**Quadro 2** - Sistema Clima Urbano: canal de percepção termodinâmico

Canal de percepção	Termodinâmico (conforto térmico)
Fonte	Atmosfera, radiação, circulação horizontal
Trânsito no sistema	Intercâmbio de operador e operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema
Projeção	Interação núcleo-ambiente
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)
Observação	Meteorológica especial (trabalho de campo)
Correlações disciplinares tecnológicas	Bioclimatologia, Arquitetura, Urbanismo
Produtos	“Ilhas de calor”, ventilação, aumento da precipitação

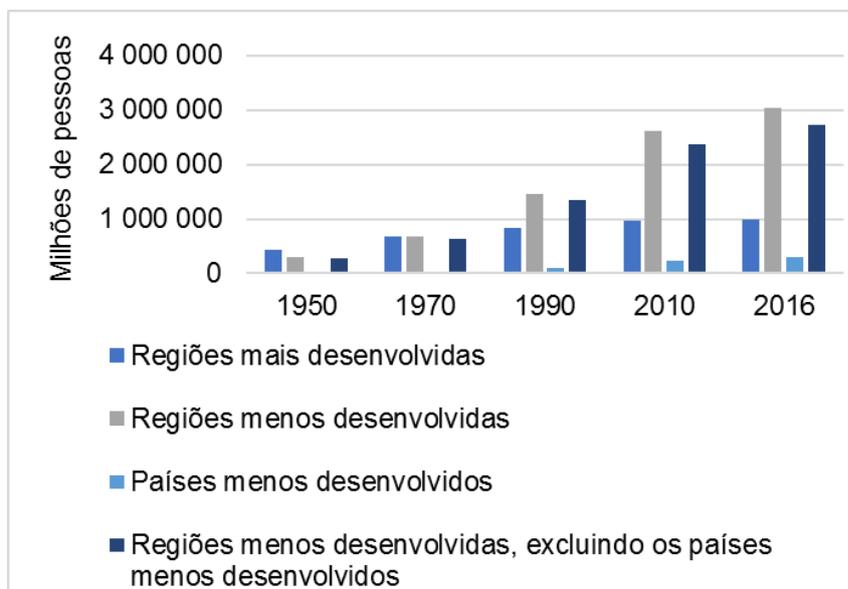
Canal de percepção	Termodinâmico (conforto térmico)
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano
Reciclagem adaptativa	Controle de uso do solo, tecnologia de conforto habitacional
Responsabilidade	Natureza e homem

Fonte - Monteiro (1976, p. 127), adaptado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Encontramos um caminho para ser seguido nas análises dos quadros 1 e 2, principalmente pela forma de observação, produtos, efeitos diretos e reciclagem adaptativa. Souch e Grimmond (2006) demonstram a importância da modelização e sistematização do estudo climático em áreas urbanas, considerando os impactos que a superfície urbana, com sua morfologia particular nas diversas cidades, atuam na formação de um sistema aberto, onde os incrementos de energia provem de fontes antropogênicas e físicas.

Monteiro (2011), assegura que “o clima urbano é um dos componentes da qualidade ambiental, e não poderá ser considerado insignificante para o mundo moderno.” É evidente, devido as características da população mundial, que o estudo do clima na escala da cidade deve fazer parte do seu planejamento. Na **Figura 1** podemos observar a evolução das populações urbanas nas diversas regiões econômicas do planeta.

**Figura 1** - População urbana em diferentes regiões do mundo.



Fonte - United Nations (UNO, 2014). Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Podemos constatar que a população urbana aumentou consideravelmente, principalmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Em 1950 havia no

planeta vinte cidades com população superior a 2,5 milhões de habitantes. Cidades como Xangai, Buenos Aires, Calcutá, Bombaim, Cidade do México e Rio de Janeiro, localizadas em países em desenvolvimento, estão entre elas. Os países em desenvolvimento sofreram um processo de urbanização acelerado a partir da década de 50 do século XX. Contudo, o processo rápido e sem planejamento foi causador de inúmeras mazelas socioeconômicas.

Os materiais que compõe o espaço urbano são importantes fatores na configuração do clima urbano. As práticas modificadoras da paisagem ocasionadas pelo homem, segundo Moreira e Galvínio (2007), contribuem para a modificação do balanço de energia das cidades, onde o armazenamento de calor pelas superfícies urbanas causa aumento nas temperaturas.

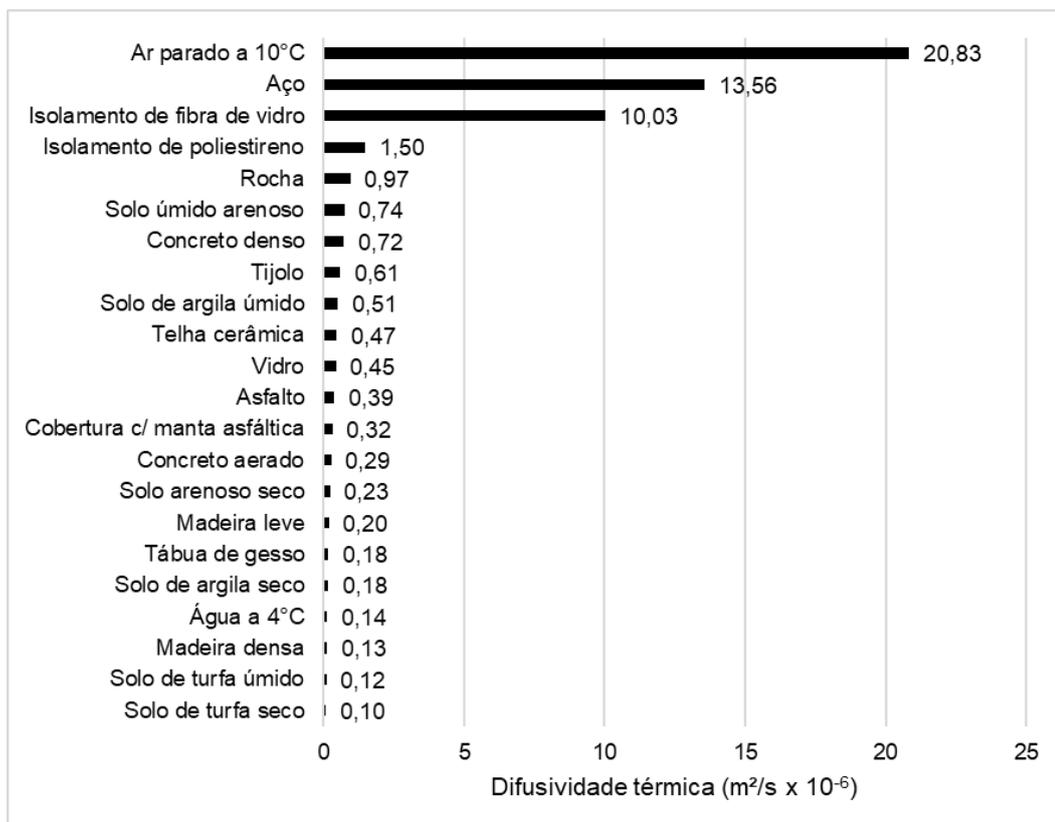
“O balanço de energia se baseia na primeira lei da termodinâmica, que diz que a energia nunca é perdida. Para uma superfície da Terra, isso significa que toda energia absorvida pela superfície por meio de radiação ou a partir de calor antropogênico, vai para algum lugar. Essa energia irá aquecer o ar acima da superfície ou será evaporada com a umidade ou será armazenada nos materiais em forma de calor”. (Gartland, 2010, p. 27).

A equação do balanço de energia é a seguinte:

$$\textit{Convecção} + \textit{Evaporação} + \textit{Armazenamento} = \textit{calor Antropogênico} + \textit{Saldo de Radiação}$$

Na **Figura 1** é apresentada a difusividade térmica de alguns materiais que podem ser encontrados em áreas urbanas.

“A difusividade térmica pode ser encontrada dividindo a condutividade térmica do material por sua capacidade calorífica. Altos índices de difusividade térmica indicam que o calor chega a camadas mais profundas do material, e as temperaturas se mantêm mais constantes com o tempo. Índices mais baixos indicam que apenas uma camada mais fina é aquecida e as temperaturas tendem a oscilar rapidamente.” (Gartland. 2010, p. 30).

**Figura 2** - Difusividade térmica de diversos materiais

Fonte: Gartland (2010).

## 1.1 CONFORTO TÉRMICO

Do ponto de vista humano, o conforto térmico está associado à condição psicológica, expressando a satisfação com o ambiente térmico que o circunda. Por outro lado, quando nos referimos ao ponto de vista ambiental, cômodo é o ambiente cujas condições admitam a manutenção da temperatura corporal sem a necessidade da ativação dos mecanismos termorreguladores (NÓBREGA; LEMOS, 2011), esse estado é conhecido como: neutralidade térmica, quando há harmonia entre o organismo humano e o ambiente.

Os estudos de conforto térmico estão baseados em três principais fatores, segundo Lamberts, Xavier e Goulard (2008): A satisfação, a performance humana e a conservação de energia.

A satisfação humana com o ambiente térmico reflete bem-estar físico e psicológico. A satisfação incide diretamente na performance humana, proporcionando maior qualidade nas atividades realizadas.

A conservação de energia se insere dentro do contexto de crescimento econômico e urbano; o aumento do uso de ambientes termicamente condicionados torna necessário que os parâmetros utilizados evitem desperdícios energéticos para a população.

O corpo humano é uma máquina térmica que dispõe de um mecanismo regulador. Esse mecanismo atua na manutenção de uma temperatura média em torno dos 37°C. Para a realização de suas atividades biológicas o organismo precisa de calor.

A energia proveniente do metabolismo dos alimentos ingeridos é utilizada nas atividades basais (funcionamento do corpo) e externas (atividades, como o caminhar) do nosso corpo, e o que pode ser chamado de “sobra” de calor é eliminado no ambiente evitando o superaquecimento.

Os principais mecanismos de trocas térmicas humanas se dão através da pele e respiração, segundo Lamberts, Xavier e Goulard (2008).

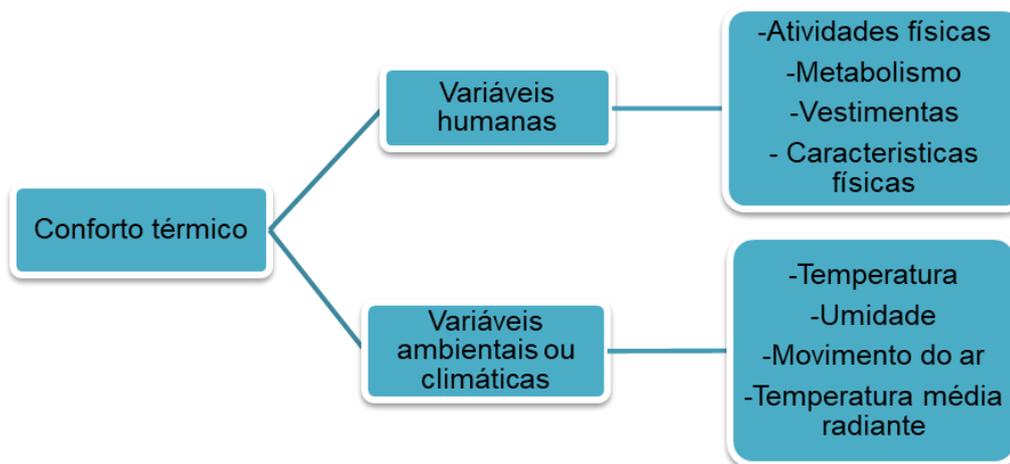
- Através da pele: Perda sensível de calor, por convecção e radiação; perda latente de calor, por evaporação do suor e por dissipação da umidade da pele.
- Através da respiração: Perda sensível de calor, convecção; perda latente de calor, evaporação.

A avaliação do conforto térmico pode ser concretizada nas categorias apresentadas por Frota e Schiffer (2001):

- *Índices biofísicos*: Troca de calor entre o corpo do indivíduo com o ambiente;
- *Índices fisiológicos*: A reação da qualidade da temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do vento;
- *Bifisiológicos* (Junção dos Biofísicos com os fisiológicos);
- *Índices subjetivos*: Sensações subjetivas com variáveis; (Sensações do conforto térmico – Mensuração: podem ser por questionários e através de medições meteorológicas realizada no ambiente simultaneamente);

Na **Figura 3** um é apresentado um fluxograma com as principais variáveis que atuam nas trocas térmicas.

**Figura 3** - Variáveis humanas e ambientais responsáveis pelo conforto térmico humano



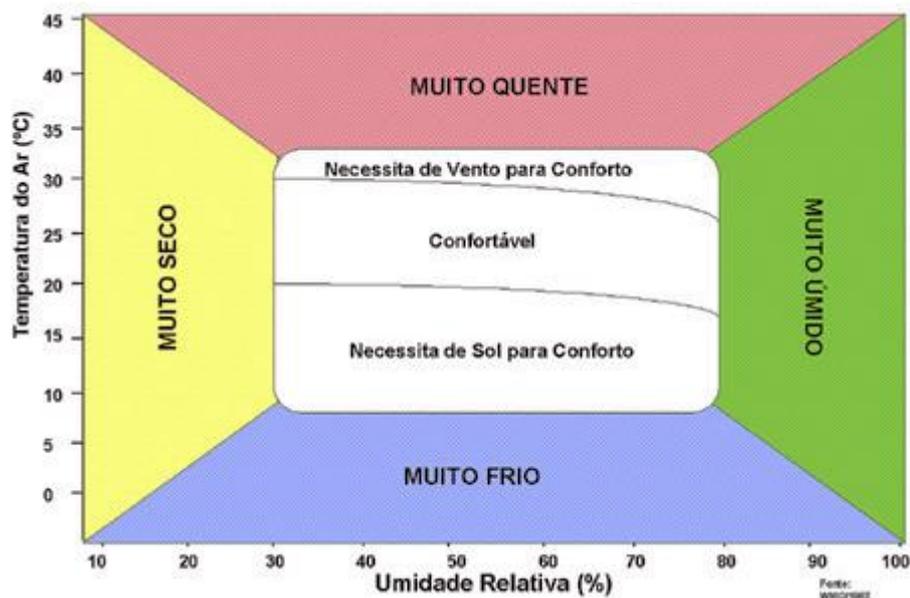
Fonte – Tamires Gabriele de Lima Mendes.

Dois parâmetros ambientais que influenciam no conforto térmico humano são o foco do presente capítulo, a umidade relativa do ar e a temperatura do ar. Esses dois elementos climáticos são vitais para os estudos de conforto térmico, como pode ser observado no diagrama (**Figura 4**) apresentado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

A temperatura pode ser definida através da movimentação das moléculas. Quanto mais rápido é o movimento das moléculas, maior é a temperatura. Normalmente a temperatura é definida em termos relativos, tomando-se por base o grau de calor de um corpo (AYOADE, 2006). Segundo Ayoade (2006), “a temperatura é a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra”.

A temperatura do ar é um fator importante na quantidade de umidade no ar. O aumento da temperatura em um determinado ambiente aumenta a proporção de vapor naquele ambiente, já que a evaporação aumenta e o ponto de condensação se eleva como explicado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

**Figura 4** - Diagrama de conforto humano baseado na temperatura do ar e umidade relativa do ar



Fonte – INMET (2018).

A umidade relativa do ar expressa uma relação de proporção relativa entre o vapor existente no ar e o seu ponto de saturação, mostrando em porcentagem o quanto de vapor existe no ar em relação a quantidade máxima possível de vapor que poderia haver, sob a temperatura que se encontra (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A porcentagem de umidade no ar dependerá de 3 fatores principais, a temperatura, a pressão e a presença de água. Quando há um aumento de temperatura em determinado ambiente há uma diminuição da pressão. Esse processo permite um maior acúmulo de umidade por conta da maior dispersão das moléculas de vapor de água no ambiente. Quando as temperaturas diminuem, a pressão aumenta e a capacidade de armazenar água diminui, aumentando assim o percentual de umidade no ar.

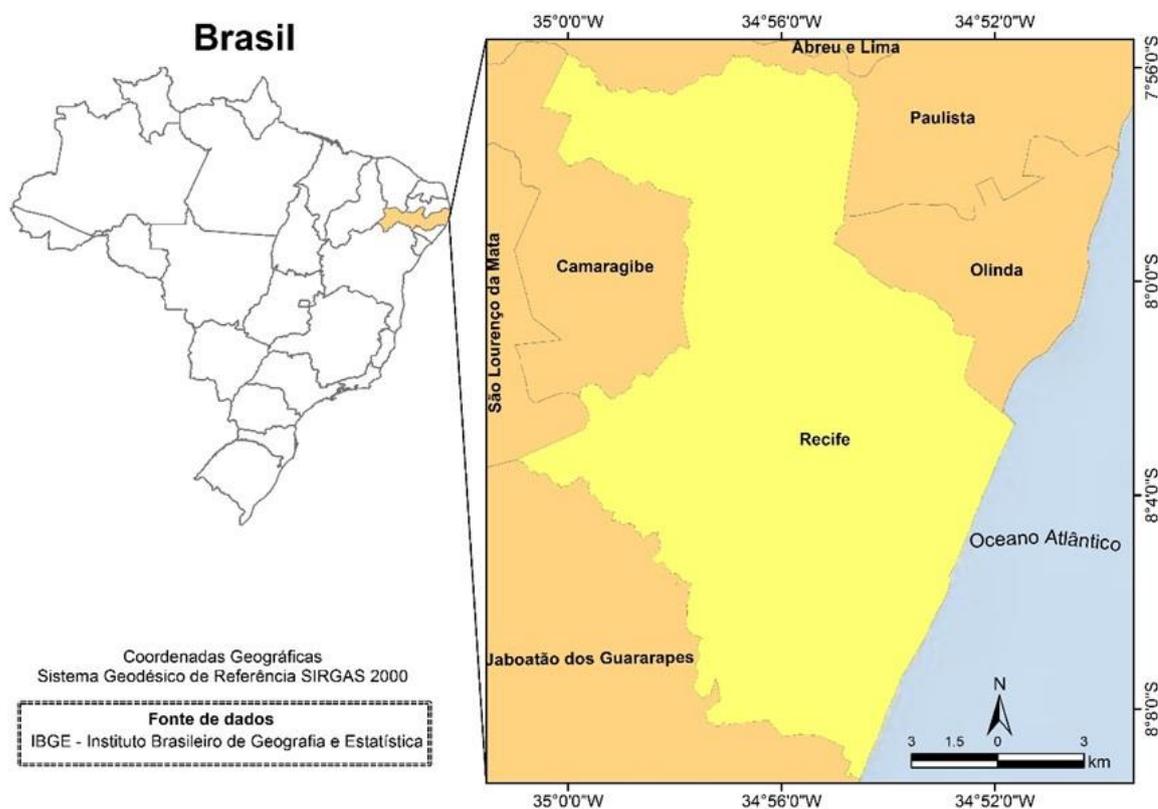
## 1.2 ÁREA DE ESTUDO

Localizada no litoral do Nordeste brasileiro, mais precisamente no centro leste da região, a cidade do Recife está situada na latitude  $8^{\circ} 03' 14''$  S e na longitude  $34^{\circ} 52' 51''$  O (Figura 5).

Se assenta numa planície aluvional flúvio-marinha composta de ilhas, penínsulas, alagados e mangues; envolvidos por braços de rios desde as costas marinhas, marcadas em quase toda a sua extensão por uma linha de arrecifes de arenito até uma cadeia irregular de outeiros terciários em semicírculo que se projeta de forma ondulada (GOMES, 2007). Sua altitude média é de apenas 4 metros acima do nível do mar, compreendendo uma área de 218 km<sup>2</sup>.

A cidade do Recife é um exemplo de distribuição de morfologias distintas. No início da década de 70, Melo (1961) nos conta que o crescimento urbano se fez sem correspondência com o desenvolvimento das atividades e funções urbanas. Assinala também, que a expansão demográfica da cidade também não correspondia todo um conjunto de serviços públicos cidadãos (água, iluminação, transporte, educação, saúde, abastecimento), cujo ritmo de crescimento se subordina ao próprio desenvolvimento econômico.

**Figura 5** - Localização da área de estudo.



Fonte - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010). Organizado por Caio Américo Pereira de Almeida.

Com população de 1.537.704 pessoas, de acordo com o censo de 2010 realizado pelo IBGE, a gestão e o acompanhamento do clima urbano é essencial para o desenvolvimento ambiental de qualidade desse importante centro urbano regional.

A cidade, ou o que dela resta, ou o que ela se torna, serve mais do que nunca à formação de capital, isto é, à formação, à realização, a distribuição da mais-valia (LEFEBVRE, 1999). Desta forma, a cidade não traz, em sua lógica, o bem-estar ambiental comum.

O bem-estar e a qualidade de vida são vendidos no mercado urbano, e a produção desse espaço é responsável pela criação de uma morfologia como forma/estrutura/função, como produto direto das relações de produção, mas também de propriedade desse (CARLOS, 2013).

“Por sua vez, a morfologia compõe, com a paisagem e o lugar, uma tríade. Neste plano, o espaço é localização e suporte das relações sociais (de produção e de propriedade), condição e meio de realização concreta da produção/distribuição/troca e consumo – fluxos e fixos – materialidade e movimento” (CARLOS, 2013, p. 66)

A cidade capitalista se desenvolveu seguindo a égide do conflito e das transformações, aponta Alvarez:

“...Entre essas transformações, inclui-se a desativação e introdução de novos usos em antigas áreas industriais e portuárias, projetos de revitalização de centros urbanos, expansão de área urbana, valorização de áreas periféricas, adensamento da verticalização, desvalorização de ativos imobiliários, remoção de populações, que além de expressarem novas morfologias, usos e funções, também sinalizam para mudanças estruturais na reprodução social” (ALVAREZ, 2013, p. 111).

Dessa forma, a capital pernambucana teve um crescimento urbano desigual, onde as áreas menos salubres, como os mangues e morros, foram tomadas pelas habitações, principalmente dos migrantes, já que os melhores terrenos foram apropriados por parte de setores sociais mais poderosos e o preço da terra, tornado inacessível pelos mecanismos formalizados do mercado, levando os setores menos poderosos e mais pobres a ocupar ambientes físicos que, para serem corretamente construídos, exigem custos maiores de engenharia e saberes mais complexos (BITOUN, 2004).

“O poder público escolheu, nas décadas de 30 e 40, uma estratégia de remoção nos alagados, deixando a cargo da iniciativa pessoal a ocupação dos morros... Somente na década de 60, ou seja, com um atraso de vinte anos, houve alguma presença pública por meio da implantação de escolas e postos de saúde. É a partir da década de 80 que parte dos recursos públicos foi destinada a infraestruturas no habitat dos morros (rede viária, contenção de encostas, abastecimento d'água) e à urbanização de comunidades de baixa renda na planície...” (BITOUN, 2004, p. 258).

### 1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

#### 1.3.1 Objetivos gerais

O objetivo do presente trabalho é avaliar as relações entre o canal termodinâmico e as diferentes morfologias urbanas da cidade do Recife, discriminando suas causas, particularidades e avaliando as possíveis interferências dos sistemas socioeconômicos e naturais na formação das ilhas de calor e ambientes termicamente desconfortáveis.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar as variáveis socioeconômicas e ambientais
- Avaliar a distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica no período estudado
- Identificar os sistemas meteorológicos que atuaram no período e os elementos climáticos
- Avaliar a distribuição espacial e temporal da temperatura do ar e umidade relativa do ar
- Calcular o desconforto térmico ambiental
- Realizar classificação microclimática através de unidades de paisagem, generalizando os resultados obtidos nas diferentes morfologias

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

O primeiro passo para o entendimento do clima urbano da capital pernambucana foi a instalação de 8 Estações de Coletas de Dados – ECD (**Figura 6 e 7**).

**Figura 6** - Fotografia da estação de coleta de dados localizada na Universidade Federal de Pernambuco.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

As ECDs continham termohigrômetros (registrando dados de temperatura e umidade do ar) da marca HOBO U23 PRO, com *datalogger* e abrigo para proteger da incidência direta de radiação solar e chuva de forma a captar dados atmosféricos com a menor interferência possível.

A altura em que as estações foram instaladas variou entre 1,5 m e 2 m de altura de acordo com o sítio e a disponibilidade dos locais para instalação. A altura é considerada ideal por não sofrer forte influência do solo, fazendo com que a captação dos dados seja fiel ao ambiente circundante (NÓBREGA; DOS SANTOS; MOREIRA, 2016). As estações

coletaram dados por 3 meses. Os meses foram novembro e dezembro do ano de 2015 e janeiro do ano de 2016.

Dados de velocidade, direção e rajada de vento; dados de cobertura de nuvens, pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar e radiação foram recolhidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Todos para o período de estudo.

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), cedeu gentilmente a ortofotografia da cidade do Recife, gerada a partir de escaneamento a laser. Dessa forma pôde ser gerado o modelo digital de superfície da cidade.

Um importante fator condicionante da temperatura e da umidade dentro do Sistema Microclimático Urbano é a precipitação. Por isso, foi necessário recorrer junto ao *website* do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) para conseguir dados de precipitação localizados dentro da cidade do Recife. Foram utilizados dados de 16 pluviômetros do CEMADEN com o mesmo espaço temporal dos dados recolhidos pelas ECDs.

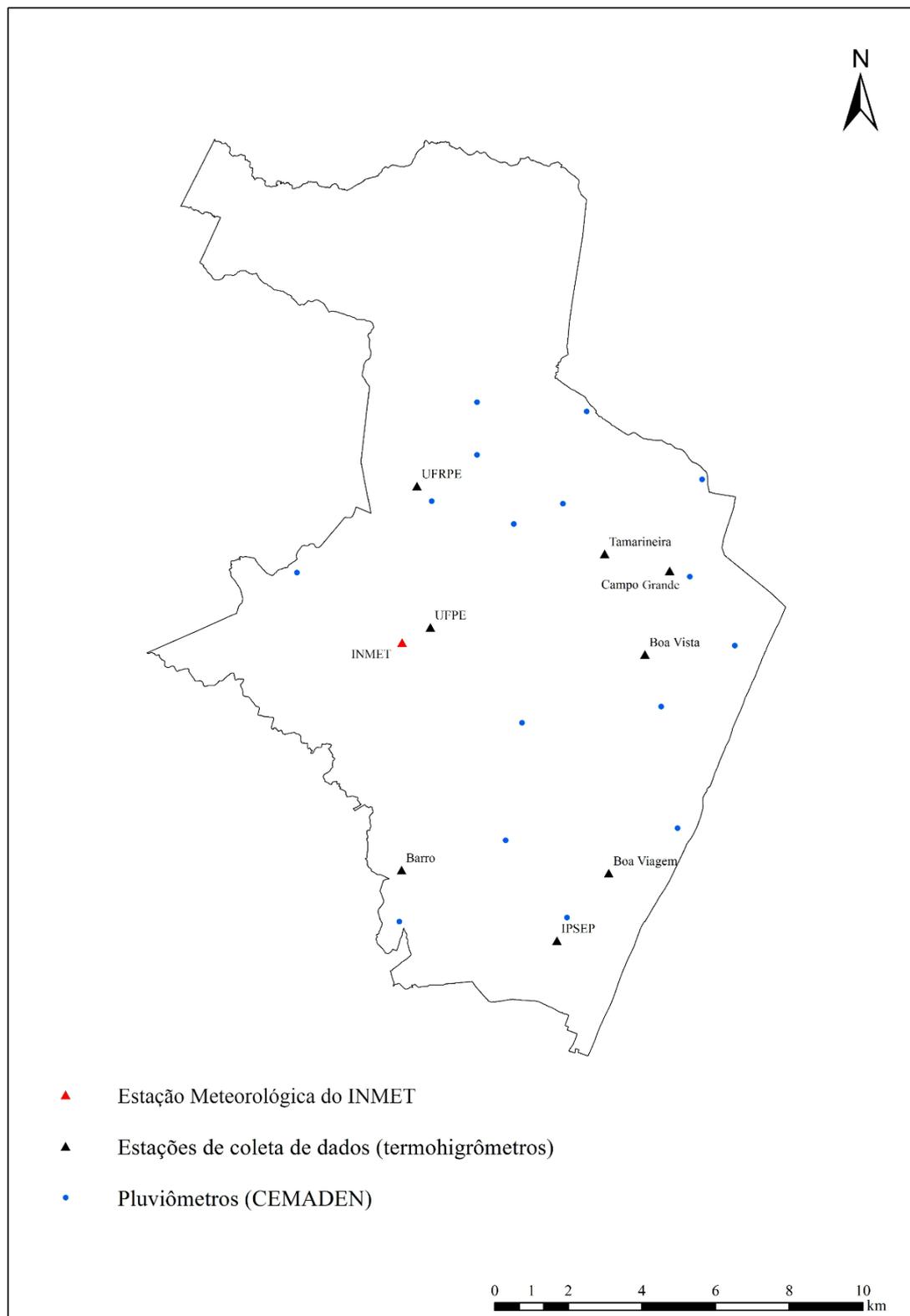
Para melhor avaliar a dinâmica dos elementos climáticos os dados foram organizados no intervalo de 3h. Também foi feito o recorte do dia em 4 partes: madrugada (00h – 05h), manhã (06 – 11h), tarde (12h – 17h) e noite (18h – 23h). Foram organizadas médias e totais de diários e mensais como último plano de análise.

Como complemento à realização da pesquisa, o Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE), realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); e o Censo Demográfico de 2010, realizado pelo IBGE, forneceram os dados ambientais e socioeconômicos referentes à cidade do Recife.

## 2.2 MÉTODOS

Para a escolha dos locais de instalação das ECDs alguns fatores locais foram levados em consideração, como a presença de fragmentos de matas e manguezais, proximidade com rios e proximidade com o oceano, pois a cidade do Recife não apresenta paisagens homogêneas e facilmente classificáveis, já que a composição urbana dos espaços se modifica em pequenas escalas, principalmente pelo histórico de ocupação da cidade.

**Figura 7** - Localização das Estações de Coleta de Dados (ECD), Estação Meteorológica do INMET e dos pluviômetros do CEMADEN na cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN e Autor. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Os trabalhos de Oke (2004), Ribeiro (2013) e o artigo escrito por Nóbrega, Dos Santos e Moreira serviram de base para a escolha dos pontos. Oke (2004) classifica diferentes zonas climáticas para áreas urbanas. Sua metodologia foi utilizada no trabalho de Ribeiro (2013). O trabalho de Nóbrega, Dos Santos e Moreira influenciou na escolha dos locais de instalação das estações devido a seus resultados no estudo do clima urbano da cidade do Recife. O **quadro 1** apresenta as estações de coleta de dados baseadas no método de Oke (2004).

**Quadro 3** - Definição das estações de coleta de dados de acordo com a classificação de Oke (2004).

ECD	Zonas climáticas urbanas por Oke (2004)
<b>UFPE</b>	Área de uso misto, formada por grandes edifícios e paisagens abertas.
<b>UFRPE</b>	Área de uso misto, formada por grandes edifícios e paisagens abertas.
<b>BARRO</b>	Área com baixa densidade, com edificações de 1 ou 2 andares.
<b>CAMPO GRANDE</b>	Área com média densidade urbana, formada por conjuntos residenciais e comércios.
<b>BOA VISTA</b>	Área urbana com alta densidade construtiva e intenso desenvolvimento, com edificações de 2 a 5 pavimentos.
<b>IPSEP</b>	Área urbana com alta densidade construtiva e intenso desenvolvimento, com edificações acima de 2 a 5 pavimentos.
<b>BOA VIAGEM</b>	Área urbana com alta densidade construtiva e intenso desenvolvimento, com edificações acima de 2 a 5 pavimentos.
<b>TAMARINEIRA</b>	Área com média densidade urbana, formada por conjuntos residenciais e comércios.

Fonte – Oke (2004) e Ribeiro (2013). Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 2.2.1 Índice de (des)conforto térmico ambiental

Para entender o conforto ou o desconforto térmico na capital pernambucana foi utilizado o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), proposto por Emmanuel (2005), o qual é comumente utilizado nos trópicos pela sua praticidade, além de ser calculado para ambientes abertos e permitir quantificar o estresse no ambiente urbano. É descrito pela seguinte equação:

$$ITU = (0,8 * T) + (UR * T \div 500)$$

Sendo T referente à temperatura do ar (°C) e UR à umidade relativa do ar (%). Os intervalos de classificação para este índice, observados no **quadro 3**, foram associados às cores verde, amarelo e vermelho; referentes às classes “confortável”, “levemente desconfortável” e “extremamente desconfortável” respectivamente.

**Quadro 4** - Intervalos de classificação do Índice de Temperatura e Umidade

Nível de conforto	ITU
Confortável (100% de pessoas confortáveis)	21 < ITU < 24
Levemente desconfortável (50% de pessoas confortáveis)	24 < ITU < 26
Extremamente desconfortável (100% de pessoas desconfortáveis)	ITU > 26

Fonte – Barbirato, Souza e Torres (2007). Adaptado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 2.2.2 Método estatístico

Foi utilizado um teste estatístico para avaliar a influência dos elementos climáticos, registrados na estação do INMET, aos dados de temperatura, umidade e conforto térmico das ECDs. A correlação linear de Pearson foi a escolhida por ser um teste de largo emprego em estatística, onde os valores das variáveis X e Y são mensurados a nível intervalar ou de razões (AYRES et al., 1998). Coeficiente de correlação Linear de Pearson ( $n$  = número de pares ( $x$ ,  $y$ ):

$$r = \frac{\sum xy - (\sum x)(\sum y)/n}{\sqrt{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} \sqrt{\sum y^2 - (\sum y)^2/n}}$$

O coeficiente de Pearson –  $r$  – pode variar de  $-1$  a  $+1$ , e quanto mais próximos desses valores, mais forte a associação das variáveis em exame (**Quadro 5**). O escore zero desse coeficiente indica ausência de correlação (AYRES et, al. 1998).

**Quadro 5** - Valores de  $r$  e suas respectivas qualidades no coeficiente de correlação linear de Pearson

Valor de $r$	Correlação
<b>= 1</b>	Perfeita positiva
<b>0,7 &lt; <math>r</math> &lt; 0,9</b>	Forte positiva
<b>0,4 &lt; <math>r</math> &lt; 0,7</b>	Moderada positiva
<b>0,2 &lt; <math>r</math> &lt; 0,4</b>	Fraca positiva
<b><math>r = 0</math></b>	Nula
<b>-0,2 &gt; <math>r</math> &gt; -0,4</b>	Fraca negativa
<b>-0,4 &gt; <math>r</math> &gt; -0,7</b>	Moderada negativa
<b>-0,7 &gt; <math>r</math> &gt; -0,9</b>	Forte negativa
<b>= -1</b>	Perfeita negativa

Fonte - Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009). Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 2.2.3 Parâmetros para zoneamento microclimático

Os parâmetros para a classificação microclimática foram definidos pelo autor de acordo com os resultados encontrados nas outras etapas da pesquisa. O reconhecimento dos principais fatores e elementos climáticos condicionantes do clima na cidade do Recife possibilitou a definição de 6 classes (**Quadro 6**).

- **Área de amenidade**

Dentro do espaço recifense destacam-se a influência dos corpos hídricos, sendo eles a hidrografia, os lagos e o oceano Atlântico. Os corpos hídricos influenciam na dinâmica da umidade relativa do ar e são fatores importantes na amenização do calor armazenado do complexo urbano.

As áreas verdes, compostas por parques, praças e resquícios de Mata Atlântica secundárias são outro importante fator de amenidade do espaço urbano recifense.

- **Área confortável**

As áreas confortáveis foram definidas a partir do critério comparativo entre as áreas. Não significam necessariamente que as áreas apresentaram índices confortáveis, mas que elas,

em comparação com as áreas de maior desconforto, apresentaram condições de maior qualidade ambiental.

Seria improvável encontrar grandes resultados de conforto no ITU para a cidade do Recife, devido sua condição latitudinal. As estações do Barro e UFRPE representam essas áreas.

- **Área levemente confortável**

As áreas levemente confortáveis foram pensadas, principalmente, de acordo com os ambientes de moradia formados por construções espaçadas ou áreas de subúrbio. Ambientes formados por características de morfologia urbana que não intensifiquem o desconforto térmico de forma acentuada.

O que difere essas áreas das confortáveis é a maior distância de ambientes que amenizam as condições de conforto. Esse critério foi estabelecido como um contraponto entre as ECDs da UFPE e Tamarineira.

- **Área levemente desconfortável**

Áreas levemente desconfortáveis foram formatadas de acordo com os resultados encontrados em espaços com um maior grau de adensamento construtivo, porém contando com a presença de ambientes amenos próximos. A ECD da Tamarineira exemplifica essas áreas.

- **Área desconfortável**

As áreas desconfortáveis foram classificadas de acordo com duas características de morfologias urbanas: áreas de média densidade sem a presença de áreas amenas e áreas de grande densidade com a presença de áreas amenas. Os dados das ECDs de Boa Viagem e Campo Grande auxiliaram na definição dessa classe.

- **Área extremamente desconfortável**

Ambientes de alta densidade urbana sem a presença áreas de amenidades consideráveis. Classe baseada nos resultados da estação do IPSEP, seus resultados se destacaram com diferenças destacáveis em relação ao desconforto térmico.

**Quadro 6** - Argumentos para classificação microclimática da cidade do Recife-PE

Características	Classificação
<b>Fragmentos de mata, corpos hídricos</b>	Área de amenidade
<b>Área com baixa densidade urbana sob influência direta de área de amenidade.</b>	Área de confortável
<b>Área com baixa densidade urbana sem influência direta de área de amenidade.</b>	Área levemente confortável
<b>Área com média densidade urbana com influência direta de área de amenidade.</b>	Área levemente desconfortável
<b>Área com média densidade urbana sem influência direta de área de amenidade, ou área de alta densidade urbana sob influência direta de área de amenidade.</b>	Área desconfortável
<b>Área de alta densidade urbana sem influência direta de área de amenidade.</b>	Área extremamente desconfortável

Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.3.1 Caracterização das estações de coleta de dados

Foi necessário adaptar o método de Oke (2004) para compreender a grande diversidade urbano-geográfica da cidade do Recife. A classificação, apesar de uma direção inicial, não abrange completamente as características específicas do presente trabalho.

No **quadro 7** apresentamos as características particulares de cada sítio escolhido para instalação dos termohigrômetros.

**Quadro 7** - Características particulares das áreas onde foram instaladas as estações de coleta de dados.

ECD	Características particulares
<b>UFPE</b>	Local cercado por áreas de subúrbio e importantes vias de circulação de veículos. Presença de vegetação rasteira abundante e árvores. Campus universitário.
<b>UFRPE</b>	Local cercado por áreas de subúrbio e importantes vias de circulação de veículos. Presença de densa vegetação com fragmentos de mata. Campus universitário.

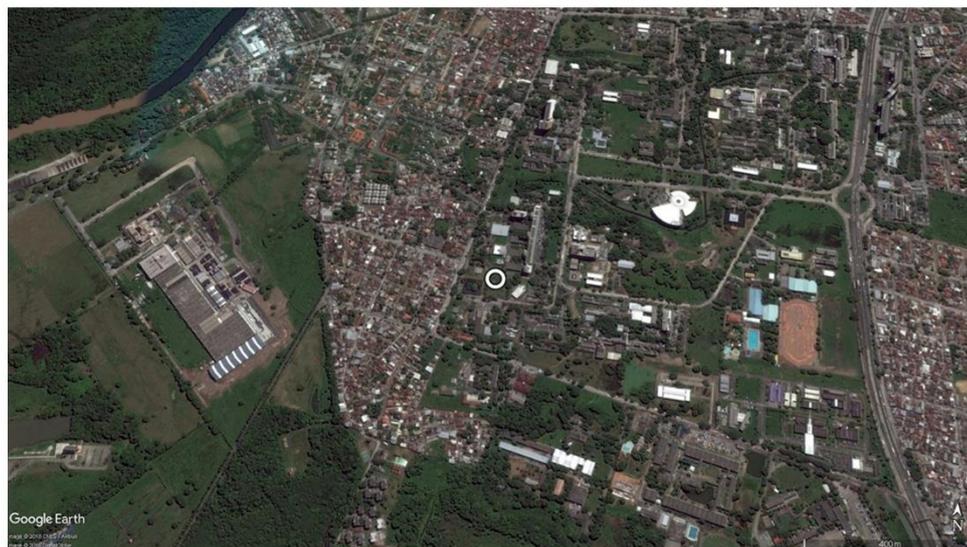
ECD	Características particulares
<b>BARRO</b>	Local próximo de grandes fragmentos de matas. Área de residencial e com presença de muitos terrenos baldios. Apresenta poucas vias asfaltadas ou calçadas.
<b>CAMPO GRANDE</b>	Zona de transição entre centro econômico e periferia.
<b>BOA VISTA</b>	Centro econômico da cidade. Com intenso tráfego de veículos e pessoas. Apresenta baixa quantidade de vegetação na zona construída.
<b>IPSEP</b>	Área mista entre residências e comércio com intenso tráfego de veículos. Apresenta baixa quantidade de vegetação e está distante de corpos d'água.
<b>BOA VIAGEM</b>	Área de maior concentração de renda na cidade. As altas edificações se espalham na linha litorânea. A estação foi instalada próxima de uma grande reserva de manguezal.
<b>TAMARINEIRA</b>	Áreas com moradias de alta padrão de renda e próximo de importante parque com vegetação abundante.

Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Da **Figura 9** até a **Figura 15** estão apresentadas imagens de satélite provenientes do software Google Earth, buscadas em 10/01/2018, E os perfis tridimensionais das estações de coleta de dados e suas adjacências. Os perfis em modelo digital de superfície (MDS) foram produzidos a partir das ortofotografias cedidas pela COMPESA.

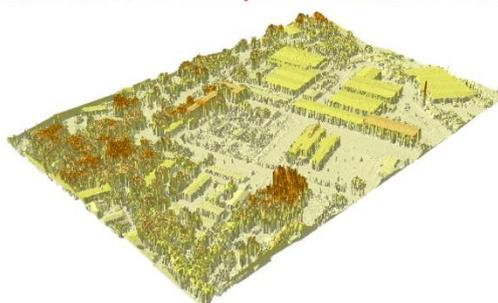
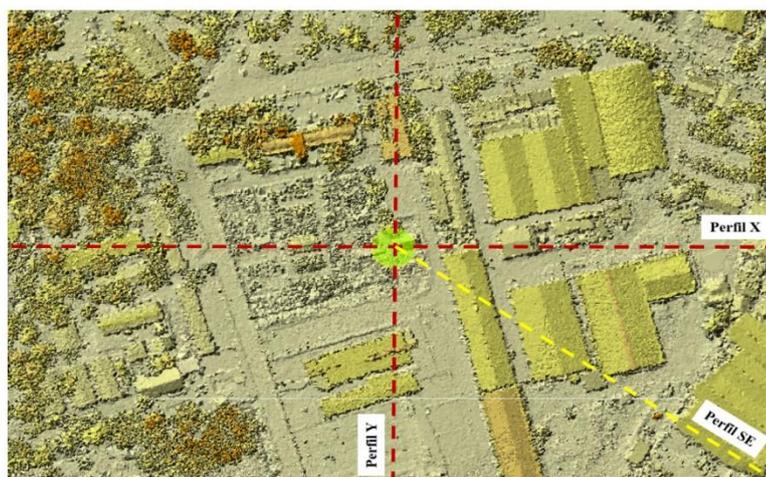
As figuras estão dispostas em com recortes em eixo vertical (Y), horizontal (X) e eixo proveniente do Sudeste (SE). O objetivo dessas imagens é oferecer um panorama espacial do entorno das estações de coleta de dados que estão demarcadas no centro das figuras.

**Figura 8** - Modelo digital de superfície da ECD da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)



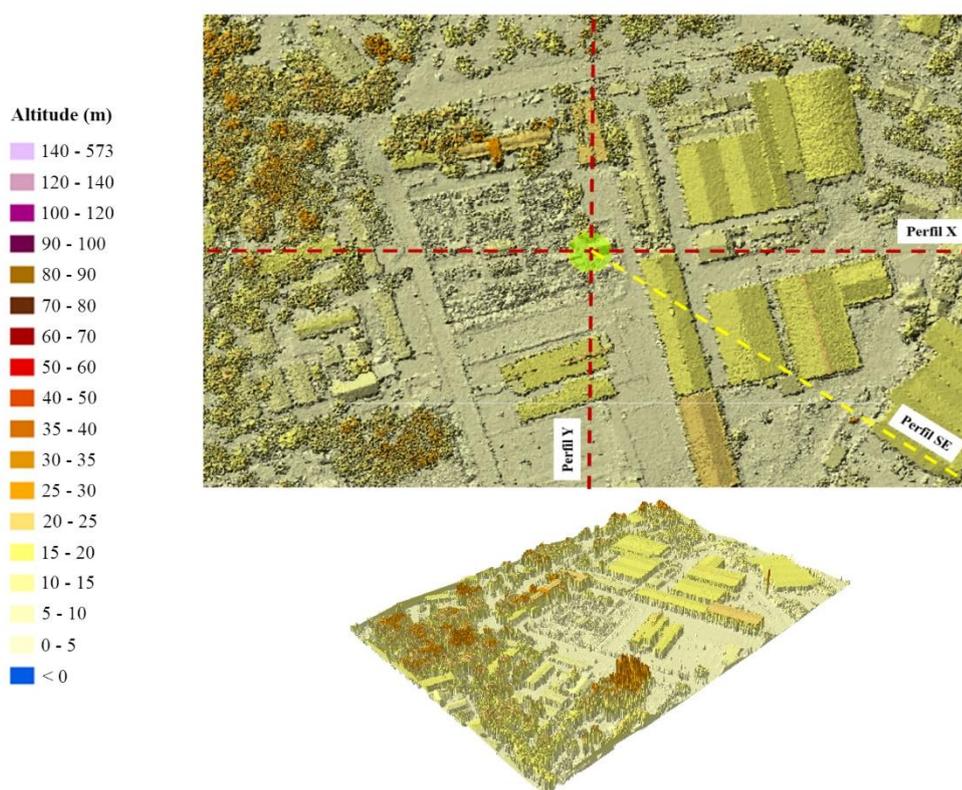
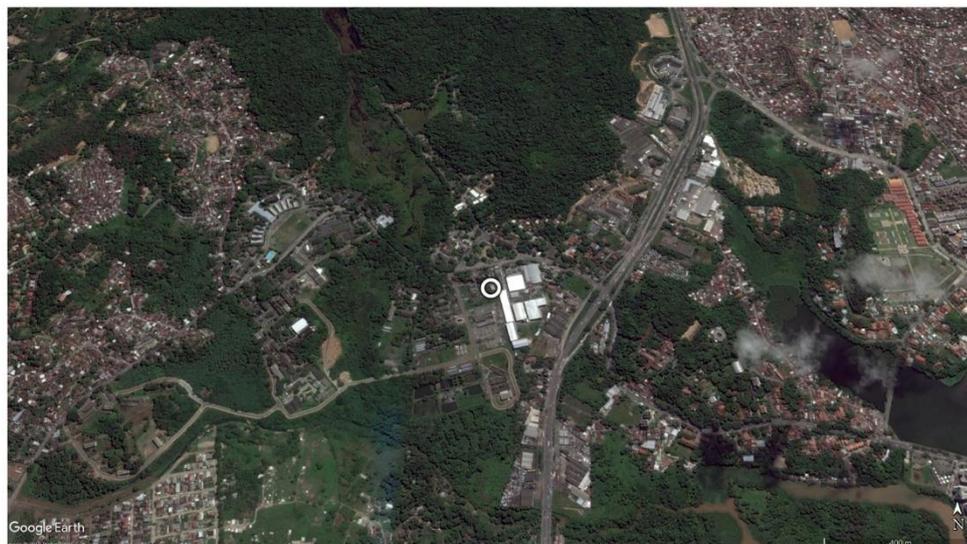
Altitude (m)

140 - 573
120 - 140
100 - 120
90 - 100
80 - 90
70 - 80
60 - 70
50 - 60
40 - 50
35 - 40
30 - 35
25 - 30
20 - 25
15 - 20
10 - 15
5 - 10
0 - 5
< 0



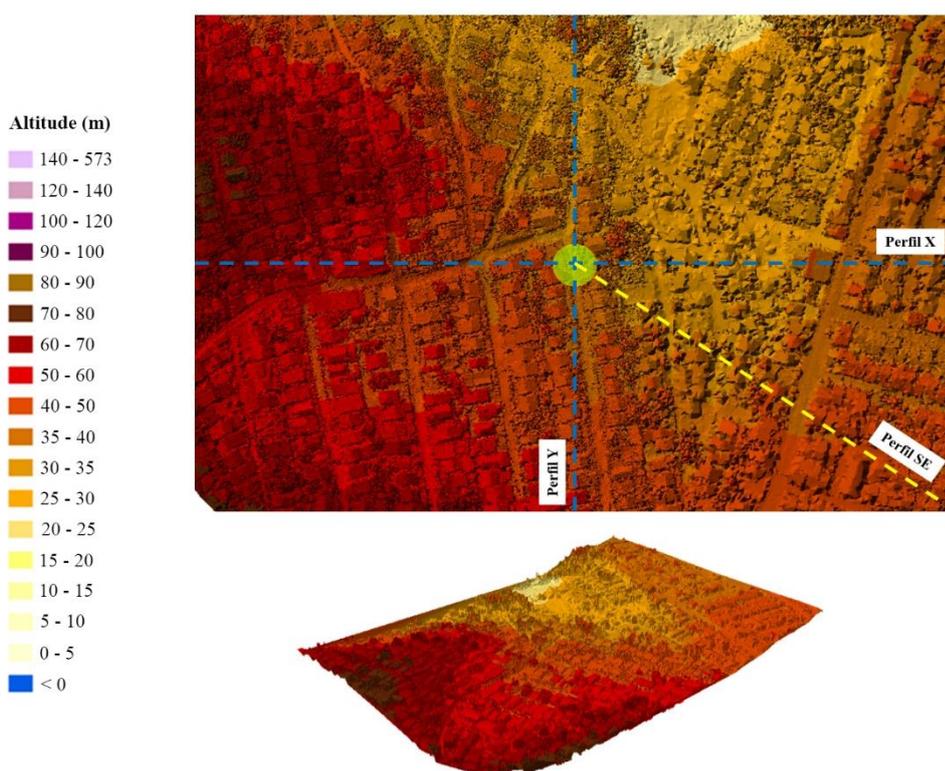
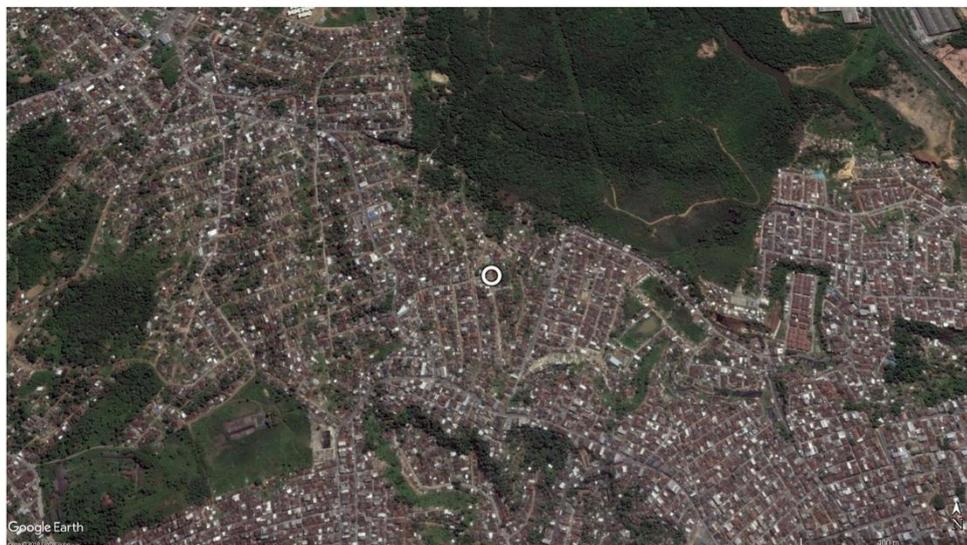
Fonte: COMPESA e GOOGLE. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 9** - Modelo digital de superfície da ECD da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).



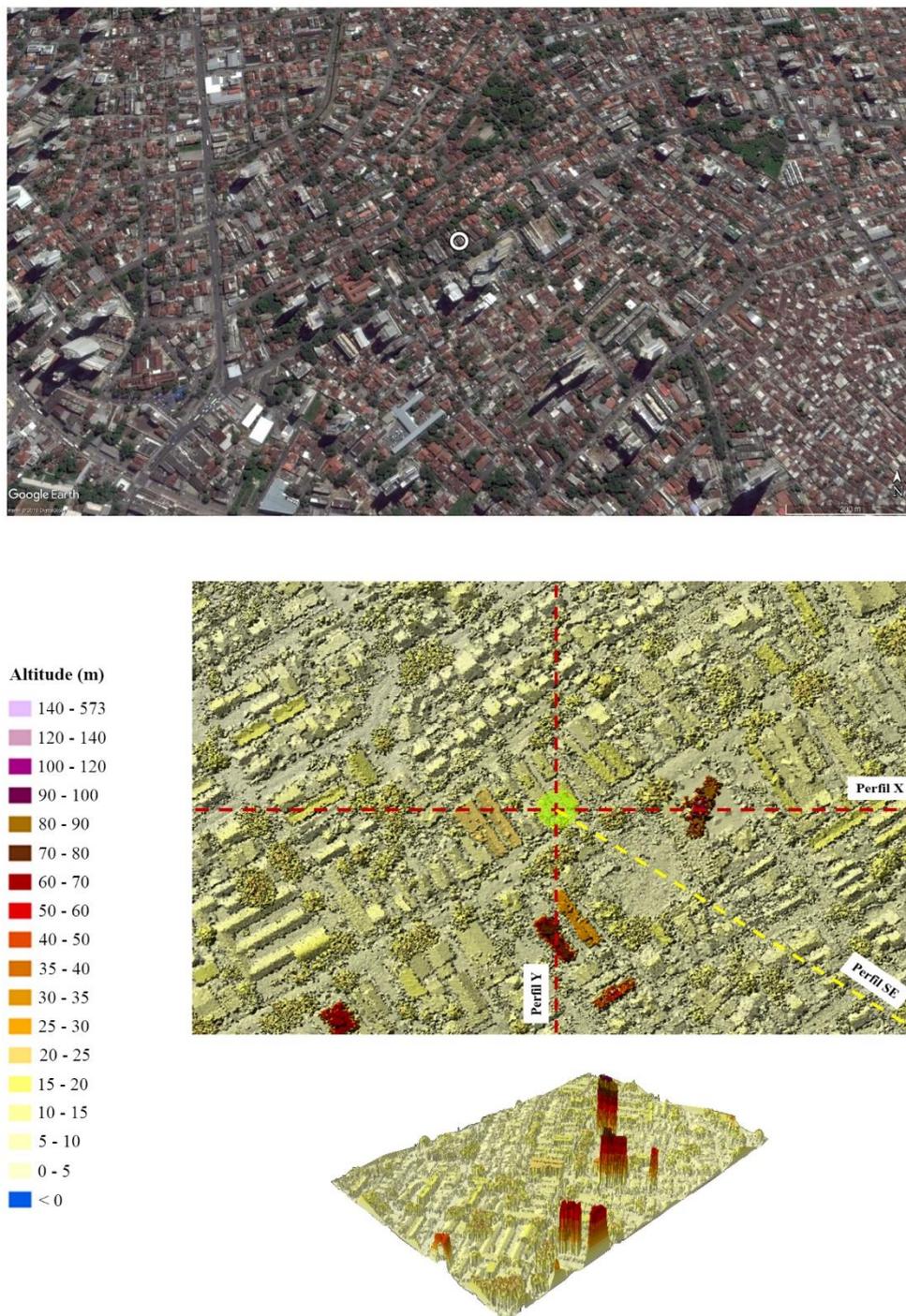
Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 10** - Modelo digital de superfície da ECD do Barro.



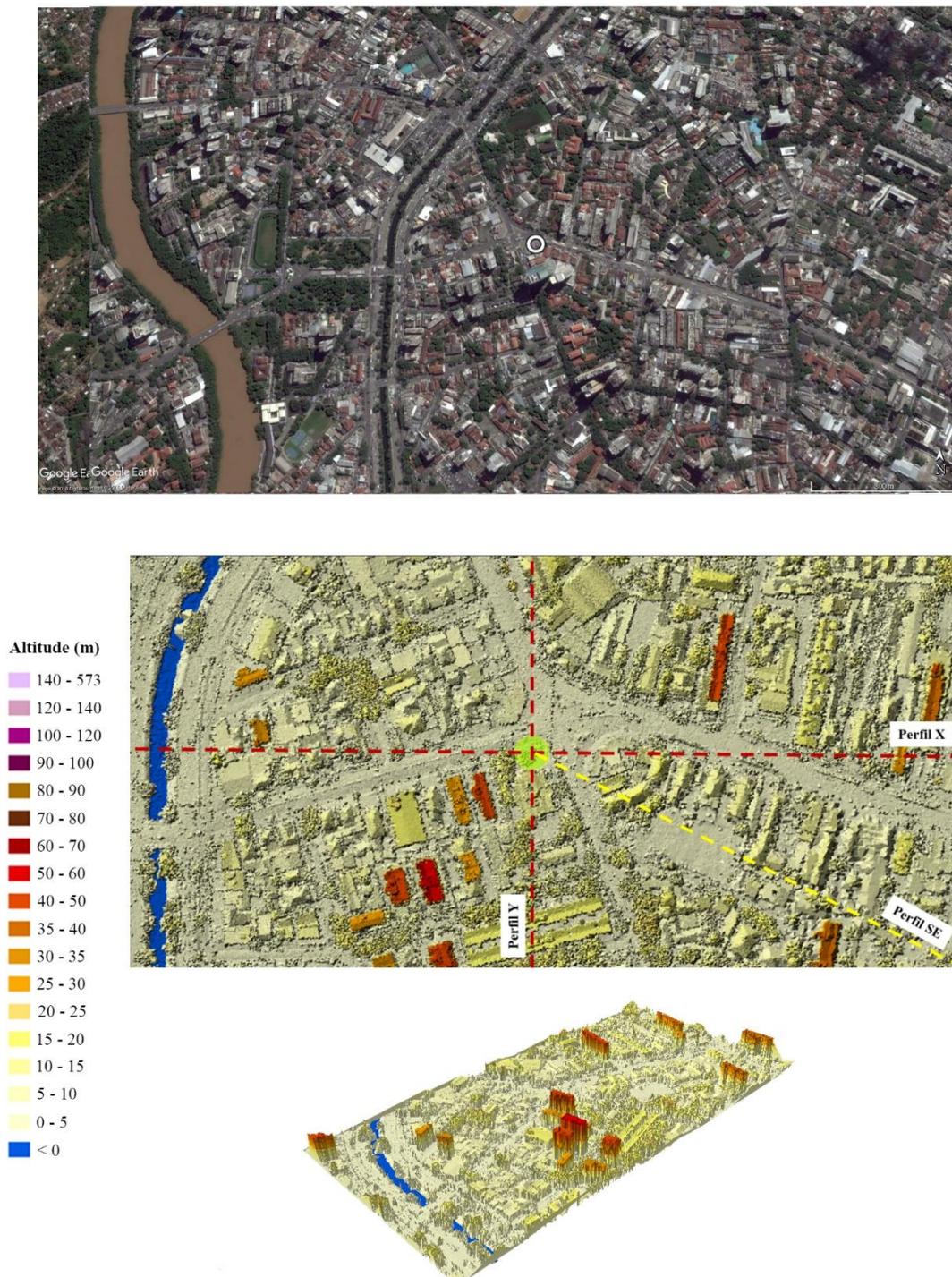
Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 11** - Modelo digital de superfície da ECD de Campo Grande.



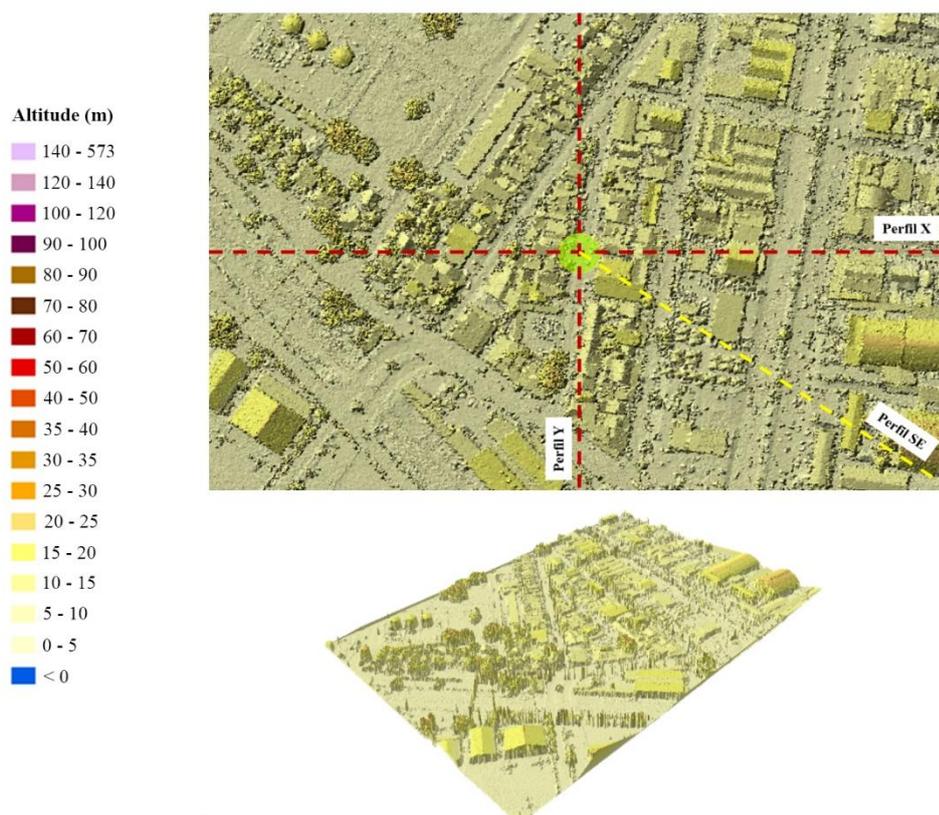
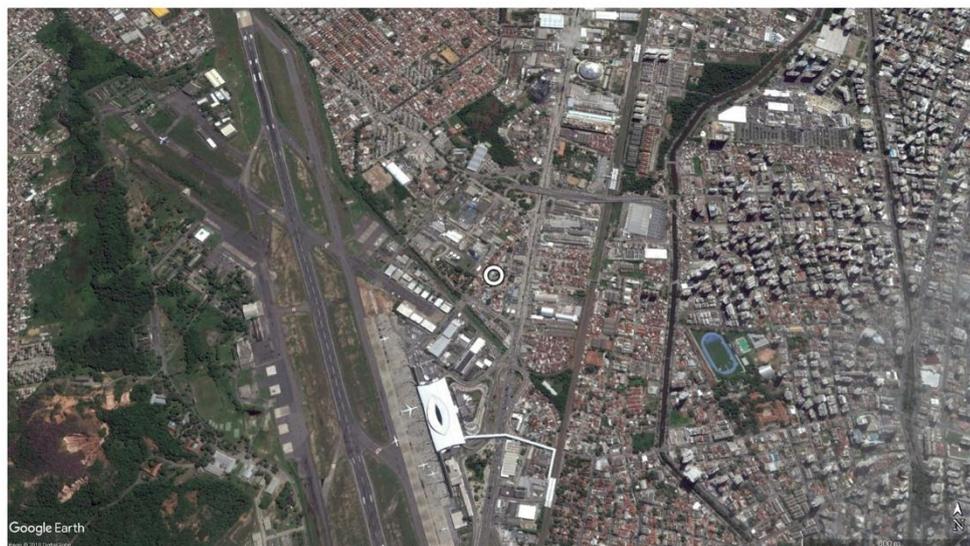
Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 12 -** Modelo digital de superfície da ECD da Boa Vista.



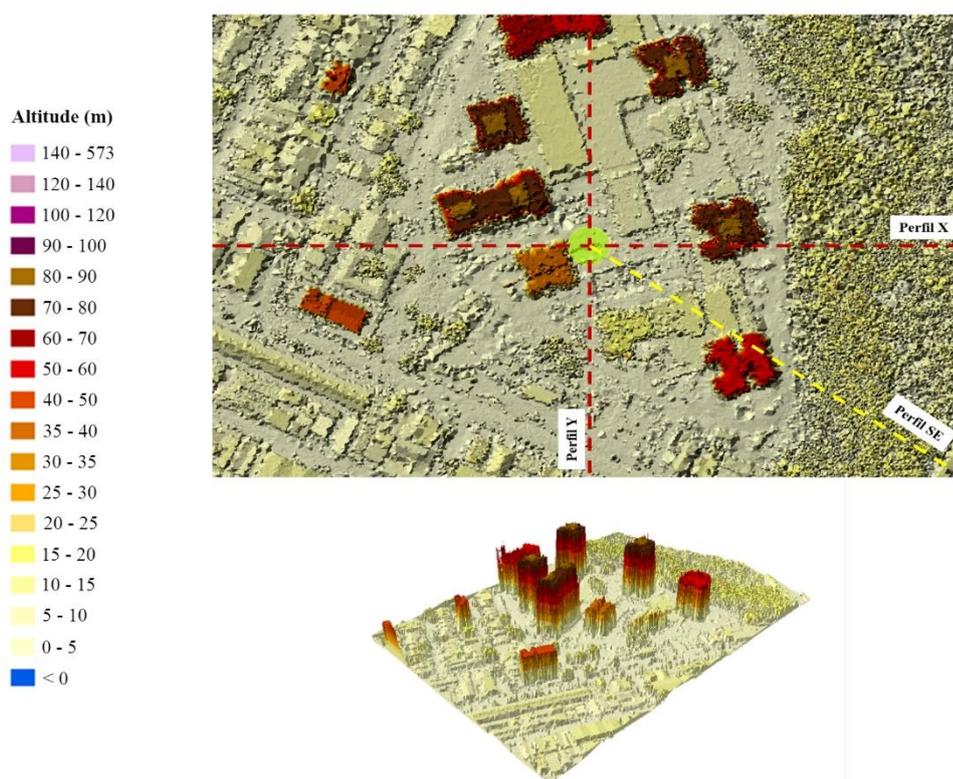
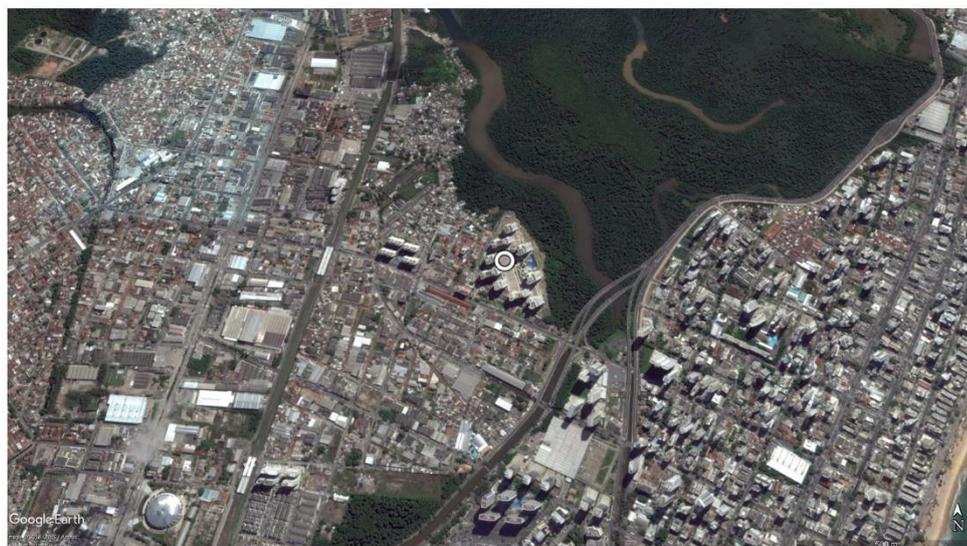
Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 13 - Modelo digital de superfície da ECD do IPSEP.**



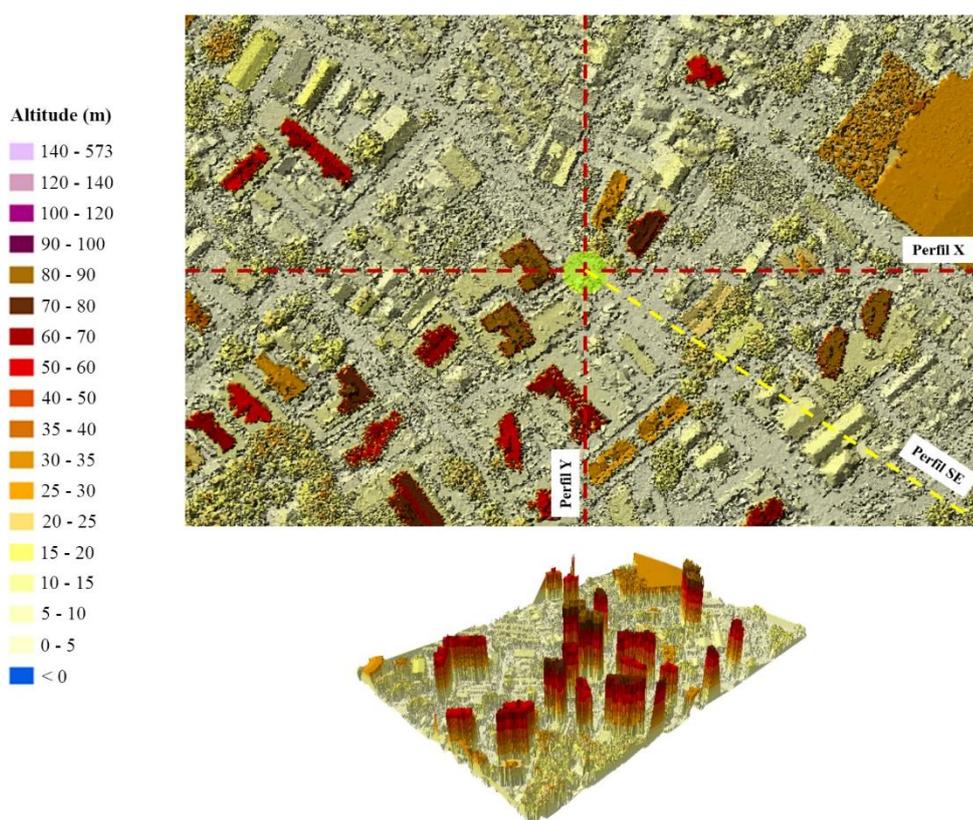
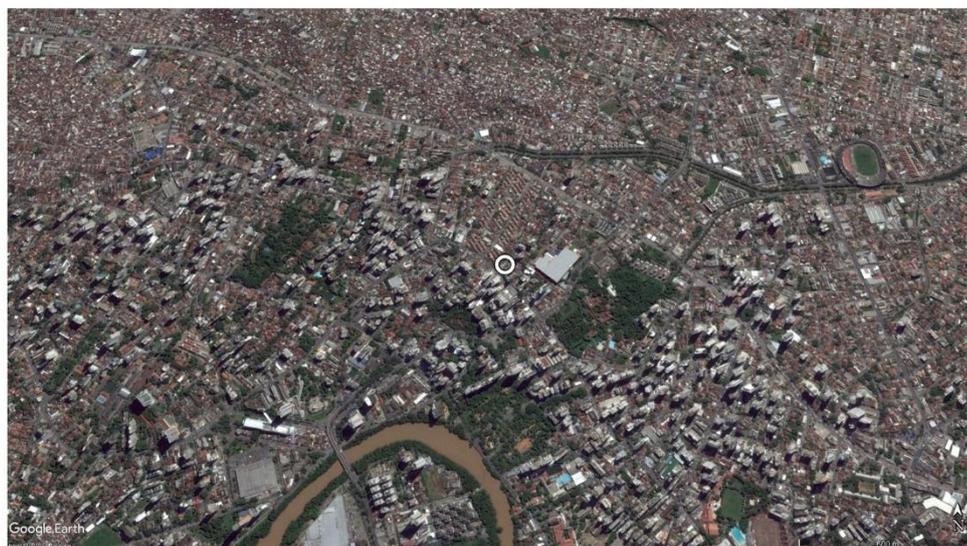
Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 14** - Modelo digital de superfície da ECD de Boa Viagem.



Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 15** - Modelo digital de superfície da ECD da Tamarineira.



Fonte: COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

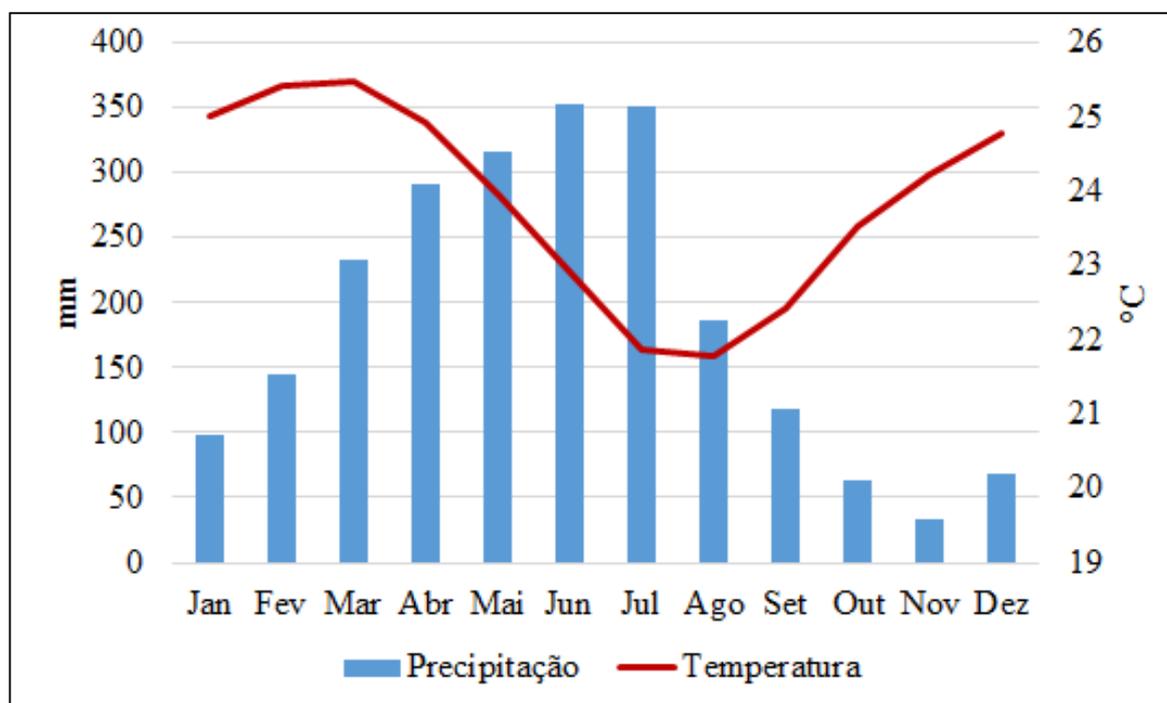
### 2.3.2 Características geoambientais e paisagens

Por estar situada em zona de baixas latitudes, apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25°C, amplitude térmica anual nunca superior a 5°C, e umidade relativa do ar com valores médios anuais de 84% (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET).

A incidência de radiação solar é alta e sofre pouca variação ao longo do ano, exceto pela penetração de nebulosidade durante o período chuvoso (maio a julho). A nebulosidade, típica dos trópicos úmidos, contribui para a radiação difusa, ou seja, aquela refletida pelas nuvens.

O índice pluviométrico anual médio encontra-se acima de 1.600 mm (**Figura 16**).

**Figura 16** - Normais climatológicas para a cidade do Recife-PE.



Fonte - INMET. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

O clima regional da cidade é o tropical atlântico de costa oriental (As', segundo a classificação climática de Köppen), com chuvas de outono-inverno, sem inverno térmico em que as temperaturas médias mensais são superiores a 18°C (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Molion e Bernardo (2002) comentam que “os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no nordeste brasileiro podem ser classificados em mecanismos de grande escala, em geral responsáveis pela maior parte da precipitação observada, e mecanismos de meso e microescalas, que completam os totais observados”. Apontam ainda que “dentre os mecanismos de grande escala, destacam-se os sistemas frontais e a zona de convergência intertropical (ZCIT)”.

Perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos e brisas marinha e terrestre fazem parte da mesoescala, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas se constituem fenômenos da microescala” (MOLION; BERNARDO, 2002; NÓBREGA; FARIAS, 2016).

A cidade do Recife está inserida em 3 bacias hidrográficas. Duas delas de destaque, que fizeram a cidade do Recife ser conhecida como a “Veneza Brasileira”. As bacias dos rios Capibaribe e Beberibe formam um importante estuário na história e economia do Brasil.

A terceira bacia hidrográfica é conhecida e formada por pequenos rios urbanos. De maior importância no município de Jaboatão dos Guararapes, essa bacia ocupa uma pequena parcela do espaço recifense.

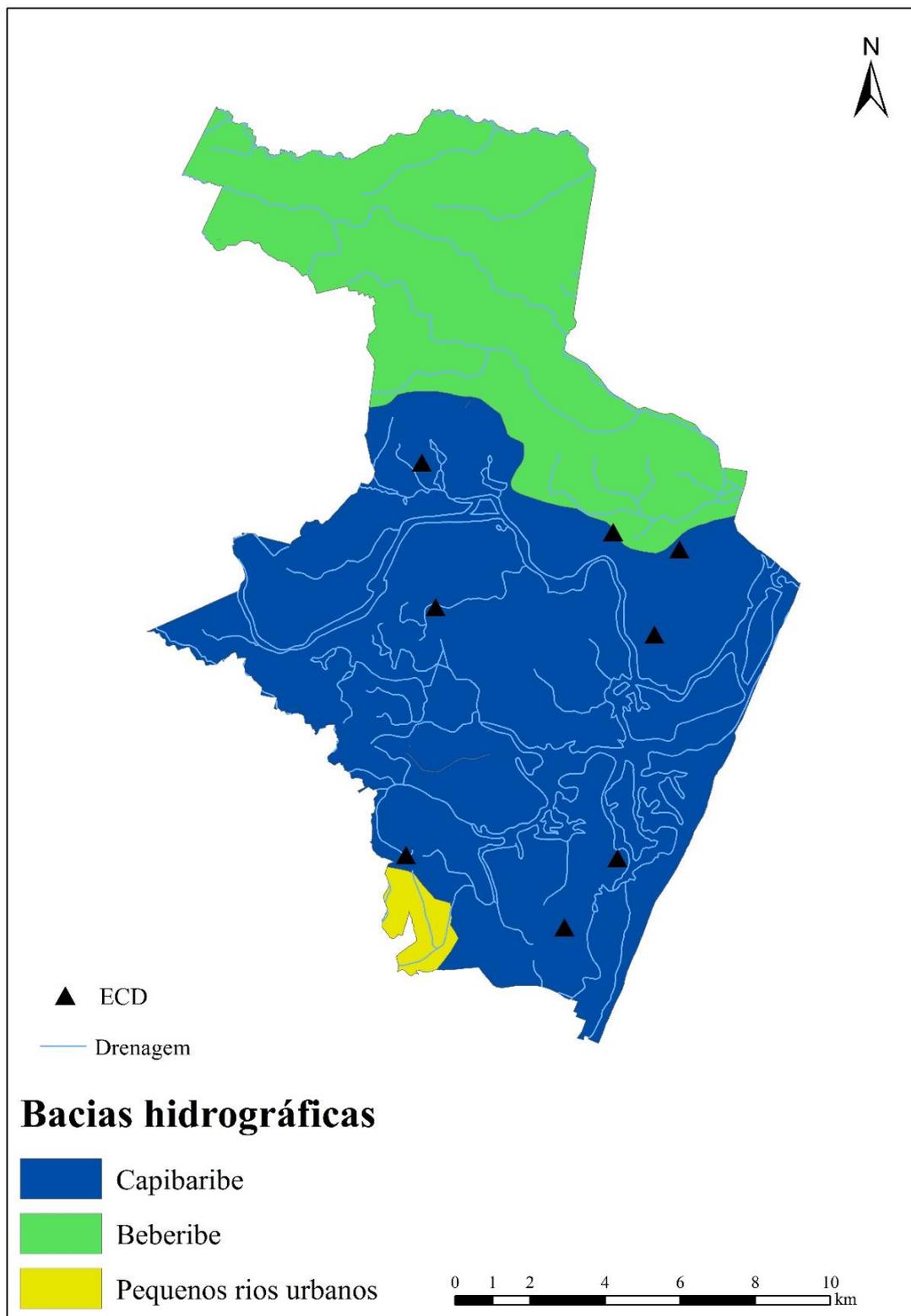
Todas as 8 estações de coleta de dados estão posicionadas na bacia hidrográfica do rio Capibaribe. As ECDs da Tamarineira e Campo Grande estão posicionadas próximas a divisa com a bacia hidrográfica do Rio Beberibe (**Figura 17**).

A máxima cota altimétrica observada é de 155,2 m. Por se tratar de uma planície aluvial-marinha, as cotas de 0,9 m até 17,9 m se destacam na paisagem. As planícies dominam o semicírculo destacado no leste litorâneo (**Figura 18**).

As cotas mais baixas, de até 4 m, são formadas por áreas estuarinas. Essas áreas, segundo Corrêa (2006), separam o terraço marinho holocênico da planície fluvial, ocorrendo ao longo do rio Capibaribe como uma “franja”. As áreas de planície, com cota próxima média de 10 metros, se encontram fora do alcance direto das marés (CORRÊA, 2006).

As áreas mais altas são destacadas no Norte, Oeste e Sudoeste do município. Ao Norte, destacam-se os tabuleiros costeiros e chãs com topos planos. No Oeste e Sudoeste do município se destacam as colinas (morros) formadas por cotas entre 40 e 80 m (CORRÊA, 2006).

**Figura 17** - Bacias hidrográficas que banham a cidade do Recife-PE.



Fonte: ZAPE. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

A distribuição das ECDs foi em grande parte através da planície recifense. A ECD do Barro se encontra no fim da planície flúvio-marinha, onde se inicia a subida para os tabuleiros no Norte do município. A ECD de Boa Viagem se encontra na divisa entre a planície e área estuarina. A estação do Barro foi posicionada em uma cota mais alta, nas colinas a Sudoeste da cidade.

O Modelo Digital de Superfície (MDS) permitiu observar, além da morfologia geológica/geomorfológica, a morfologia antrópica. Destacam-se na paisagem, o que vamos chamar de formações morfológicas antrópicas, no Sudeste e Nordeste da cidade do Recife.

Chegando a cotas acima de 80 m, a formação antrópica do Sudeste se distribui ao longo do litoral. Forma uma espécie de “serra”. No Nordeste temos uma grande área com altas cotas que segue desde o litoral e acompanha o curso do rio Capibaribe. A distribuição dos tipos de solos na cidade do Recife é caracterizada por uma grande faixa do que podemos chamar de solo antrópico. Os diversos tipos de pavimentos utilizados nas atividades humanas formam essa gama de solos, que na **figura 19** são chamados em grande parte por Área urbana.

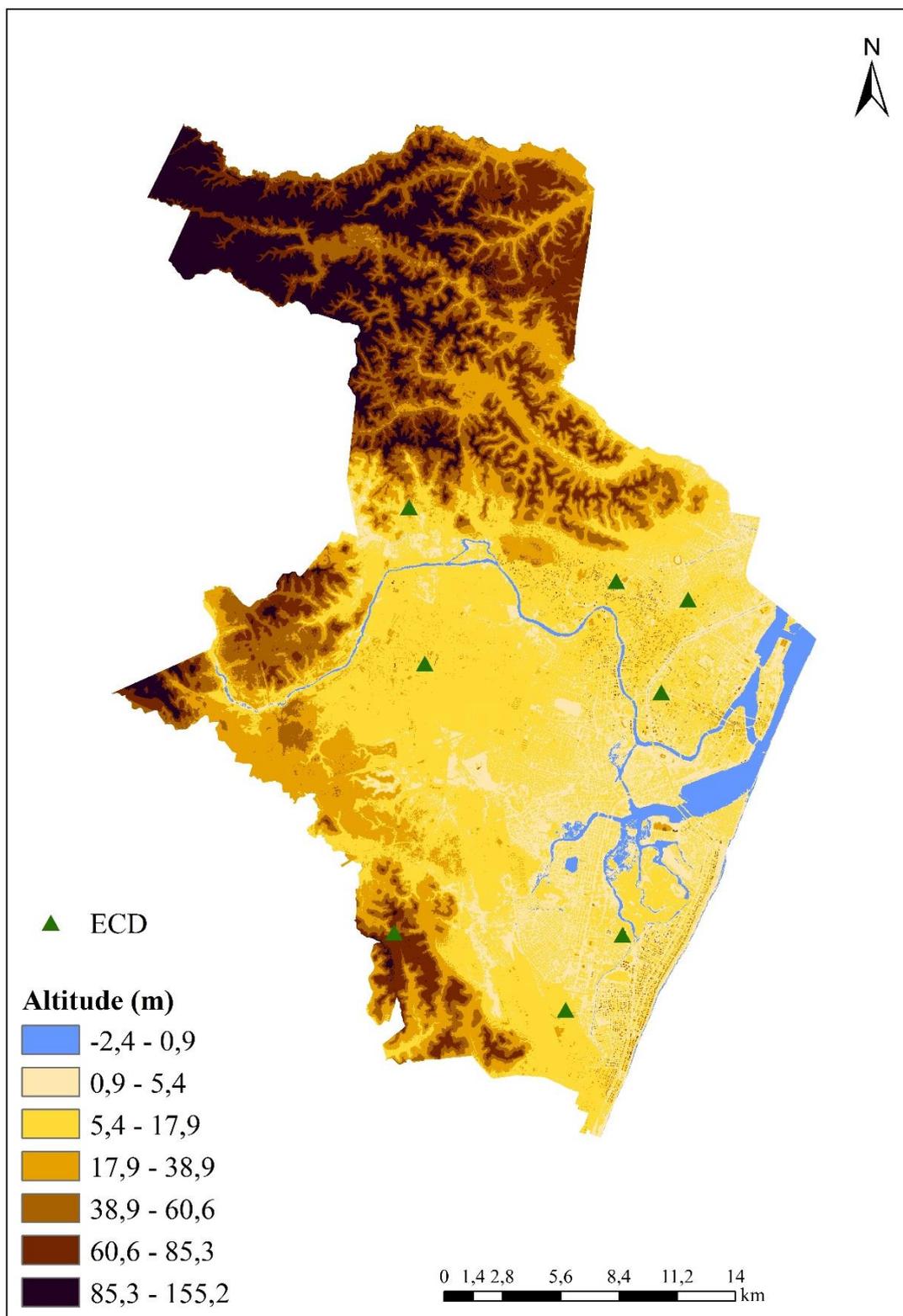
Os Neossolos e Gleissolos encontrados no Oeste da cidade, na várzea do rio Capibaribe, representam uma das poucas áreas agrícolas da cidade afastadas do Norte. Os Neossolos são grupamentos de solos pouco evoluídos, sem horizonte B diagnóstico definido (EMBRAPA). Os Gleissolos são, por característica básica, hidromórficos. Encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água segundo a classificação de solos da EMBRAPA.

Solos mais profundos são encontrados nas porções Noroeste e Norte do município. São formados por Argissolos e Latossolos. Os solos mais profundos se destacam nas porções mais altas do município, principalmente na área de tabuleiros costeiros. Nessas áreas se encontram a maioria das propriedades rurais ou agrícolas da cidade do Recife.

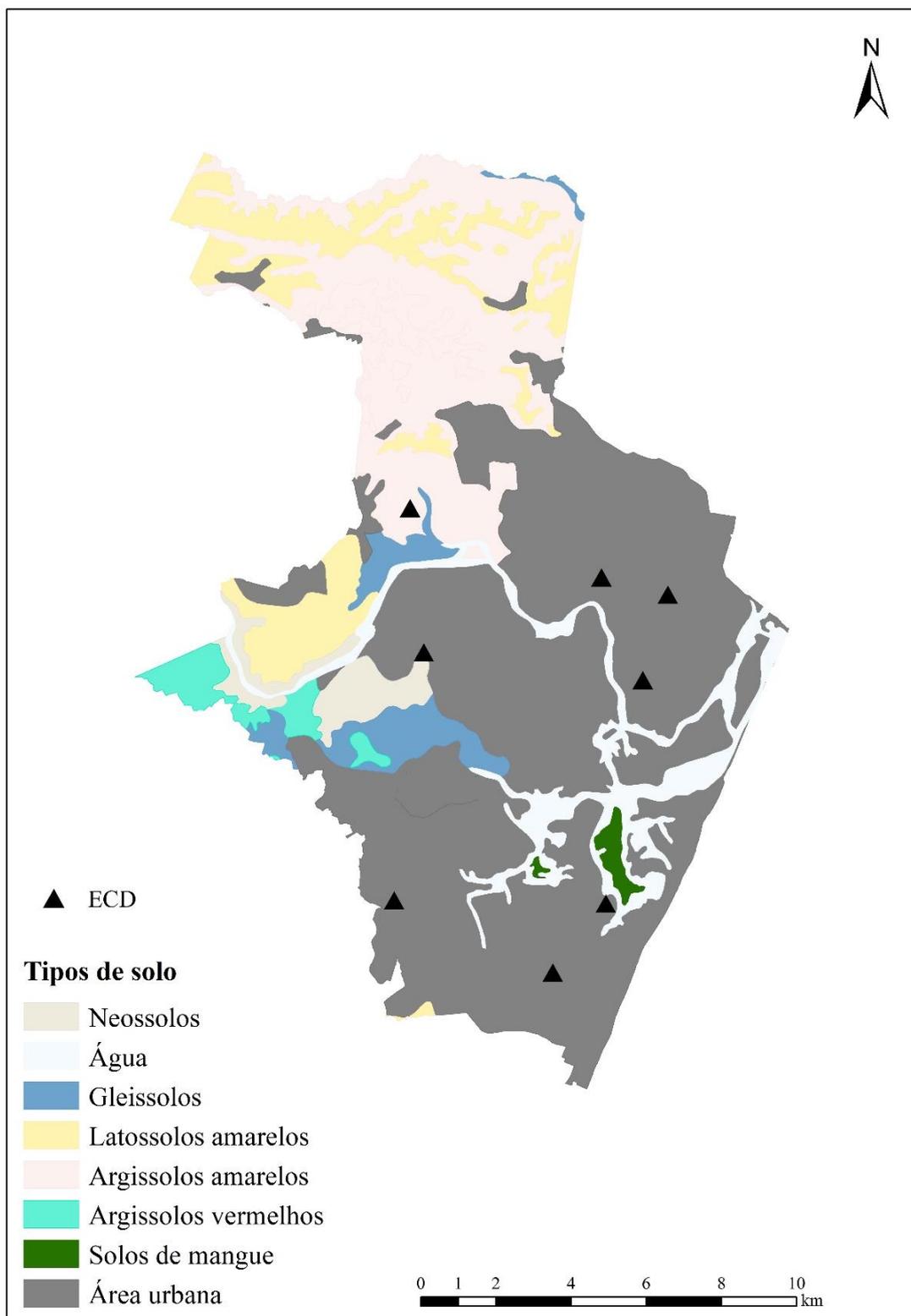
As estações de coleta de dados estão em grande parte dentro dos limites dos solos antrópicos. O tipo de solo encontrado no sítio da ECD do Barro é o Argissolo. Entre as estações, o solo encontrado na ECD do Barro é o que apresenta maior percolação de água.

A cidade do Recife apresenta 8 unidades geoambientais segundo o zoneamento agroecológico promovido pela EMBRAPA. O grande destaque na cidade é o que eles consideram como área urbana (**Figura 20**).

Figura 18 - Modelo digital de superfície para a cidade do Recife-PE.

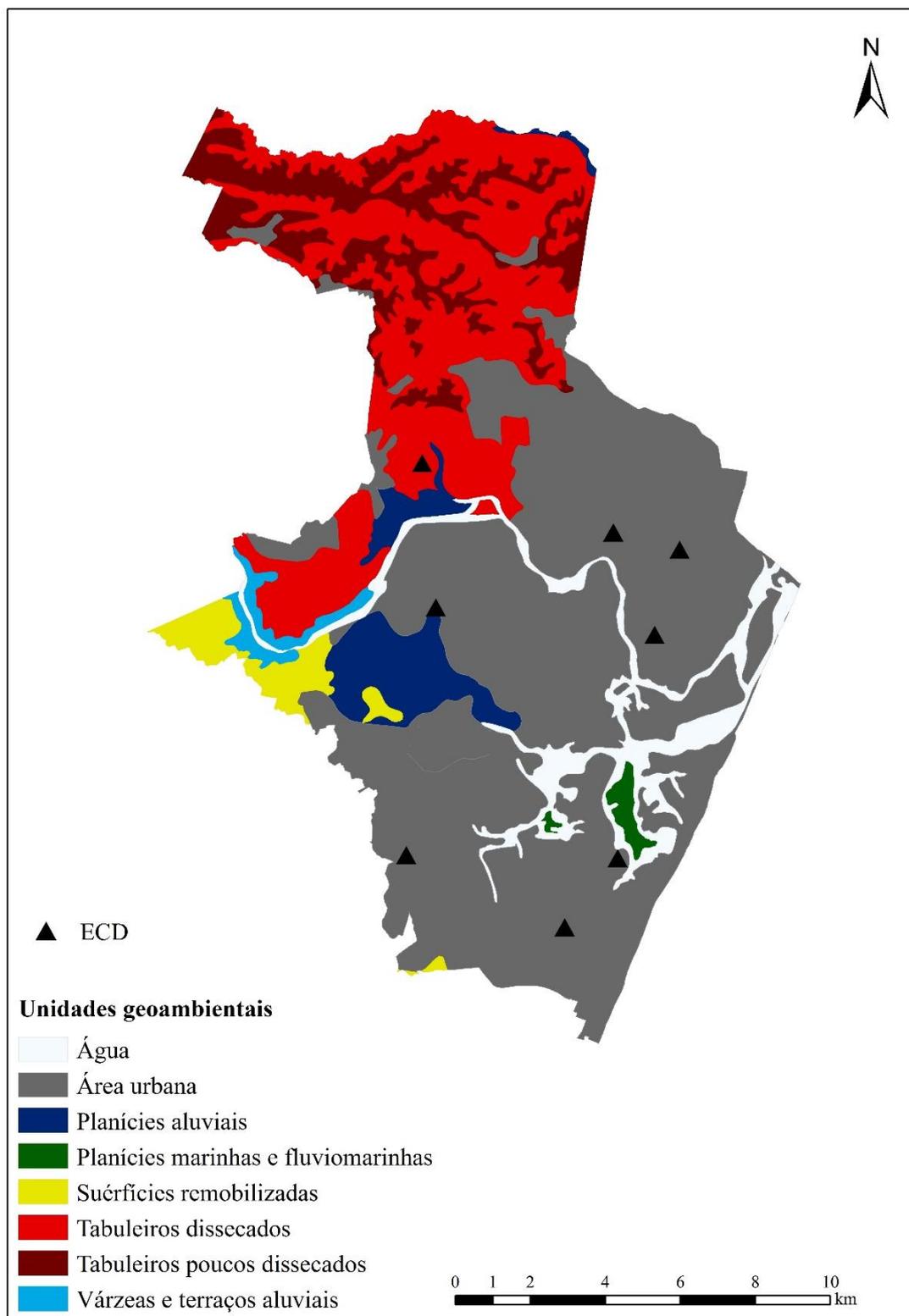


Fonte – COMPESA. Produzido por Ayobami Badiru Moreira e organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 19** - Tipos de solos encontrados na cidade do Recife-PE.

Fonte: ZAPE. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 20** - Unidades geoambientais da cidade do Recife-PE.



Fonte: ZAPE. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

As unidades dos tabuleiros dissecados e pouco dissecados se destacam no setor Norte e Noroeste. As superfícies remobilizadas, as planícies aluviais e várzeas dominam a paisagem do setor Oeste da cidade. Essas áreas foram muito importantes na antiga economia canavieira. A cana era produzida nas zonas de solos mais profundos e seus produtos vertiam através dos rios para a exportação no porto do Recife. Muitos bairros dessas áreas têm o nome de antigos engenhos.

As ECDs estão distribuídas em grande parte na unidade de área urbana. A ECD da UFPE ficou localizada na divisa entre a área urbana e a unidade de planícies aluviais. A ECD do Barro foi instalada na unidade dos tabuleiros dissecados, área de transição com a planície flúvio-marinha.

### **2.3.3 Da cidade mangue à metrópole regional**

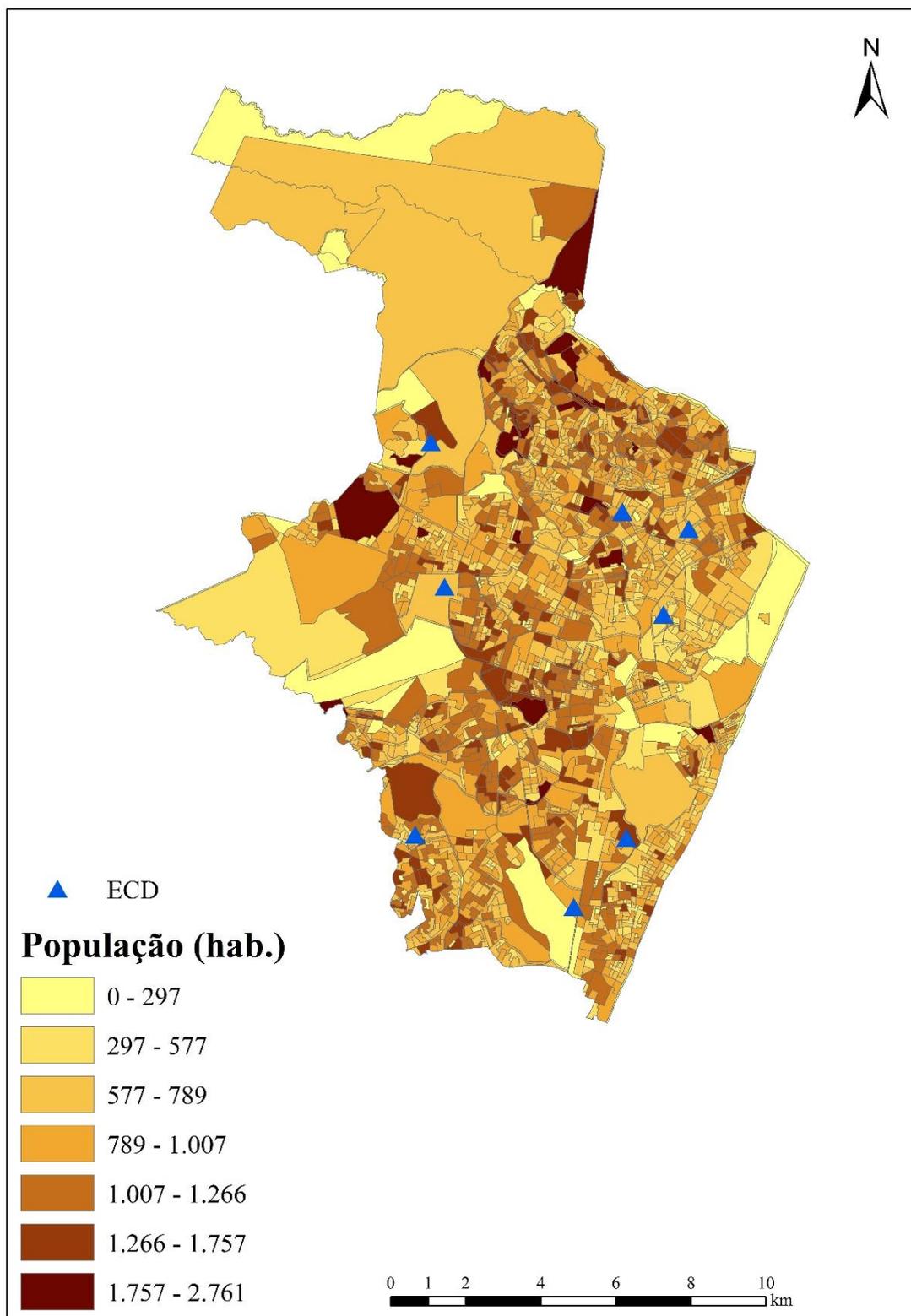
O último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2010 revelou uma população de 1.537.704 habitantes na cidade. O grande contingente populacional se encontra no eixo central do território recifense (**Figura 21**).

A ocupação densa, de 7.039,64 hab./km<sup>2</sup> no censo de 2010 do IBGE, é encontrada desde as colinas no Sul e Sudoeste, na Planície central, áreas litorâneas e início dos tabuleiros no Nordeste. As áreas de Tabuleiros no Norte, pelo tipo de ocupação formada por chácaras, granjas e outros tipos de pequenas propriedades residenciais e agrícolas, apresentam baixa densidade populacional (**Figura 22**).

Setores de alto fluxo econômico, como na zona leste da cidade, também apresentam baixa densidade populacional. Essas áreas são ocupadas em transumância diária, são ambientes de trabalho e de pouca fixação de morada.

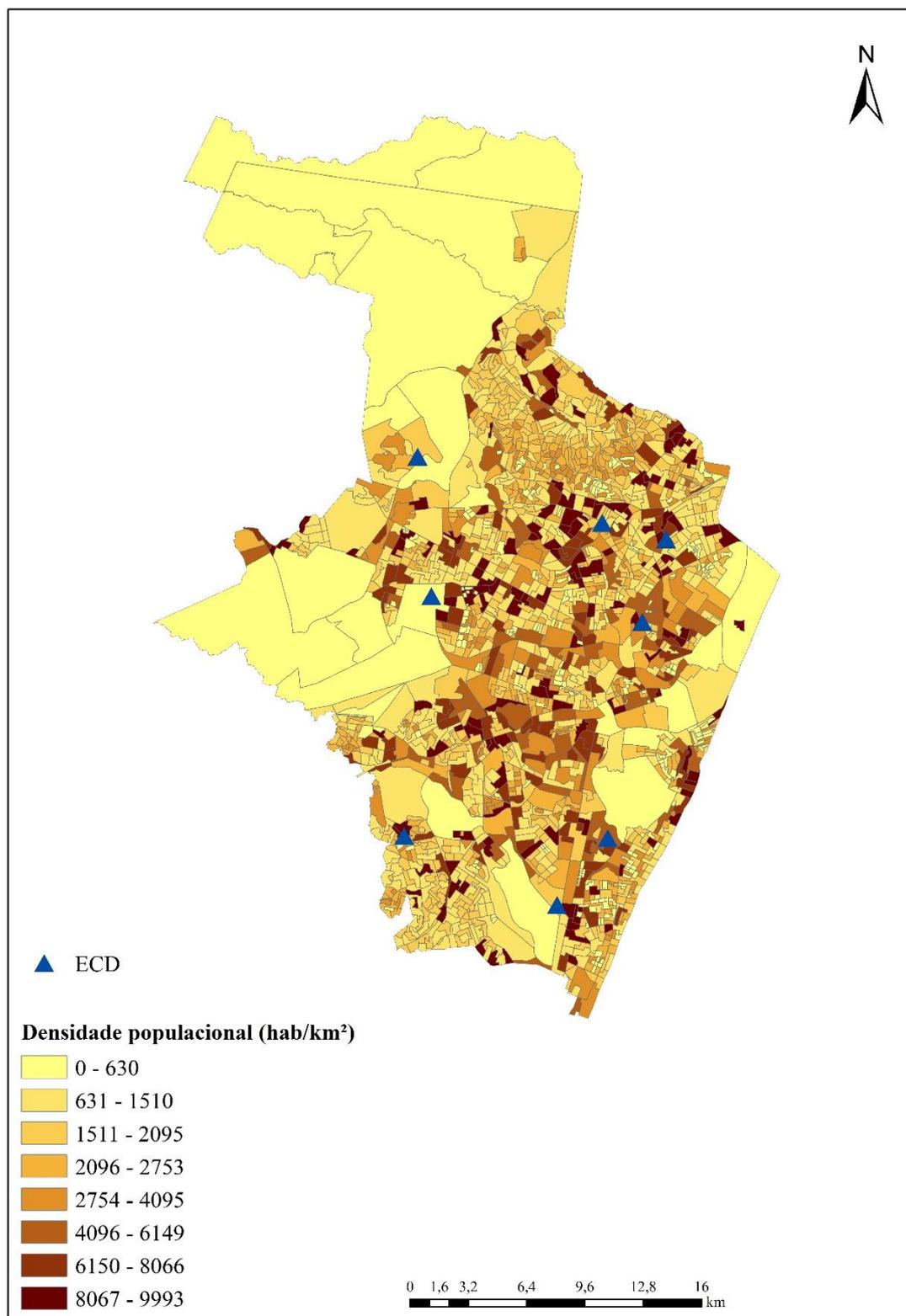
O setor Oeste também apresenta grande área de pouca densidade populacional. Nessa área se encontra um importante polo fabril e grandes propriedades do exército brasileiro e polícia militar, além de reservas florestais como o Instituto Ricardo Brennand e o Jardim Botânico da cidade.

**Figura 21** - Distribuição da população por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 22** - Densidade populacional por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Todas as ECDs se encontram em áreas populosas e povoadas. Até as ECDs que foram instaladas nos compus universitários, UFRPE e UFPE, têm em seus entornos áreas populosas.

A ECD do IPSEP tem em sua face Oeste o Aeroporto Internacional dos Guararapes, área de baixa densidade populacional. Outra estação que apresenta densidade populacional baixa é a da Boa Vista.

A ECD da Boa Vista está localizada numa dos principais pólos de serviços e comércio da cidade. Área de população transumante de grande fluxo. As ECDs UFPE, UFRPE e Boa Vista são as únicas que não estão localizadas diretamente em áreas de moradia.

O uso do solo na capital pernambucana é pautado pela dinâmica de um centro econômico terciário. A morfologia urbana segue o padrão do uso. As áreas mais verticalizadas da cidade obedecem aos usos dos comércios e das moradias de alto padrão. As principais áreas de verticalização intensa se encontram no Sudeste e Nordeste da cidade (**Figura 23**).

As áreas de pouca verticalização, ou de verticalização de até três patamares, se apresentam como áreas de comércio de menor densidade espacial. Em grande parte, essas áreas se caracterizam como áreas dormitório e de comércios locais que atendem essas populações de formas pontuais.

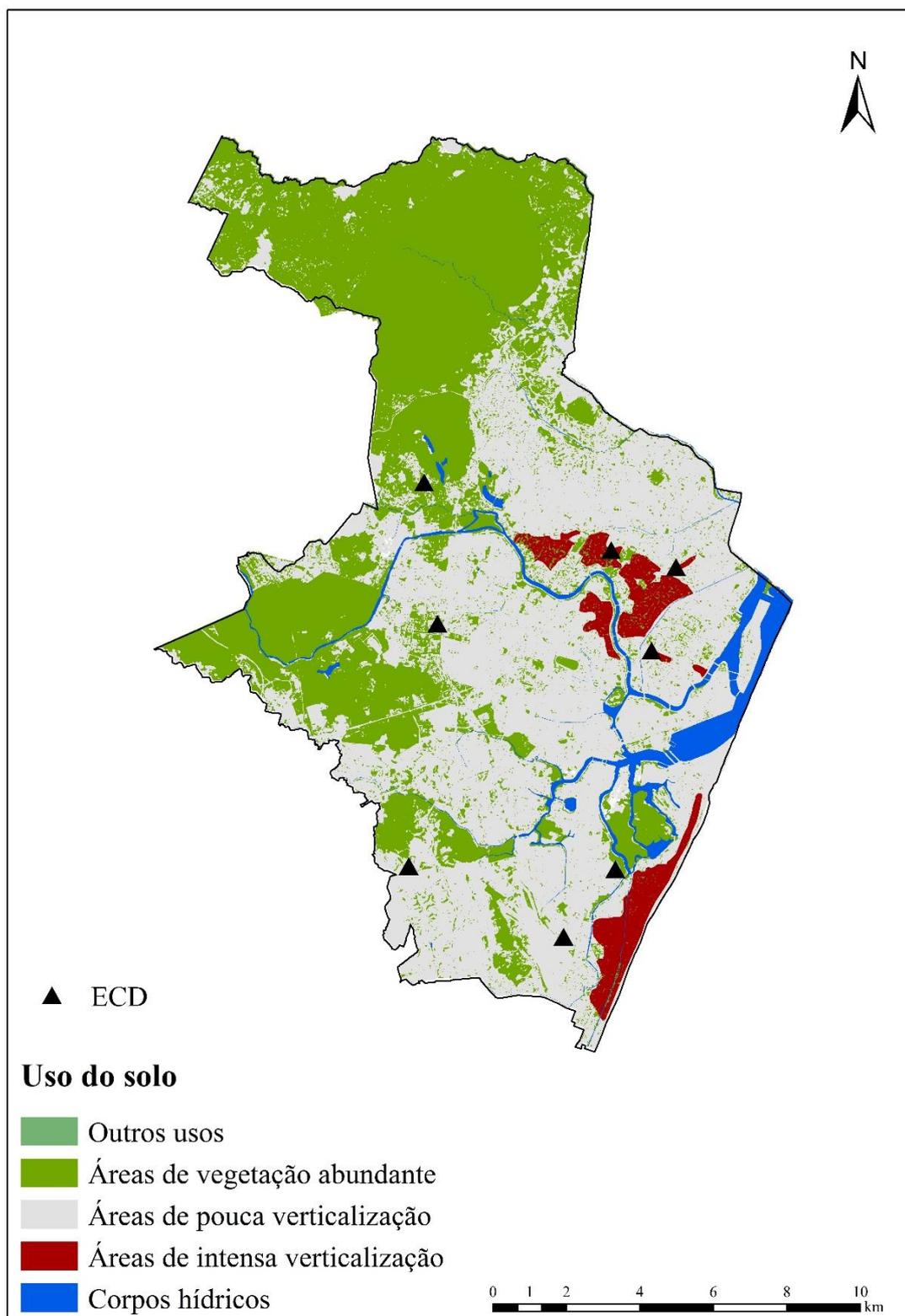
A cidade apresenta importantes áreas vegetadas ao Norte e Oeste de seu território. No Leste se destaca o Parque dos manguezais, próximo a ECD de Boa Viagem. Alguns parques urbanos, como o Parque da Jaqueira, são importantes polos de lazer na cidade. A ECD da Tamarineira está localizada próxima do parque supracitado.

As estações de coleta de dados estão distribuídas em diferentes usos, assim como as citadas acima, temos as ECDs da UFRPE e BARRO próximas de áreas vegetadas. A ECD de Campo Grande está localizada na borda de uma importante área de verticalização. Outra importante área vertical é onde se localiza a ECD da Boa Vista.

A quantidade de domicílios varia de acordo com as áreas da cidade. Os setores Centro e Norte apresentam as áreas com maior quantidade de domicílios (**Figura 24**).

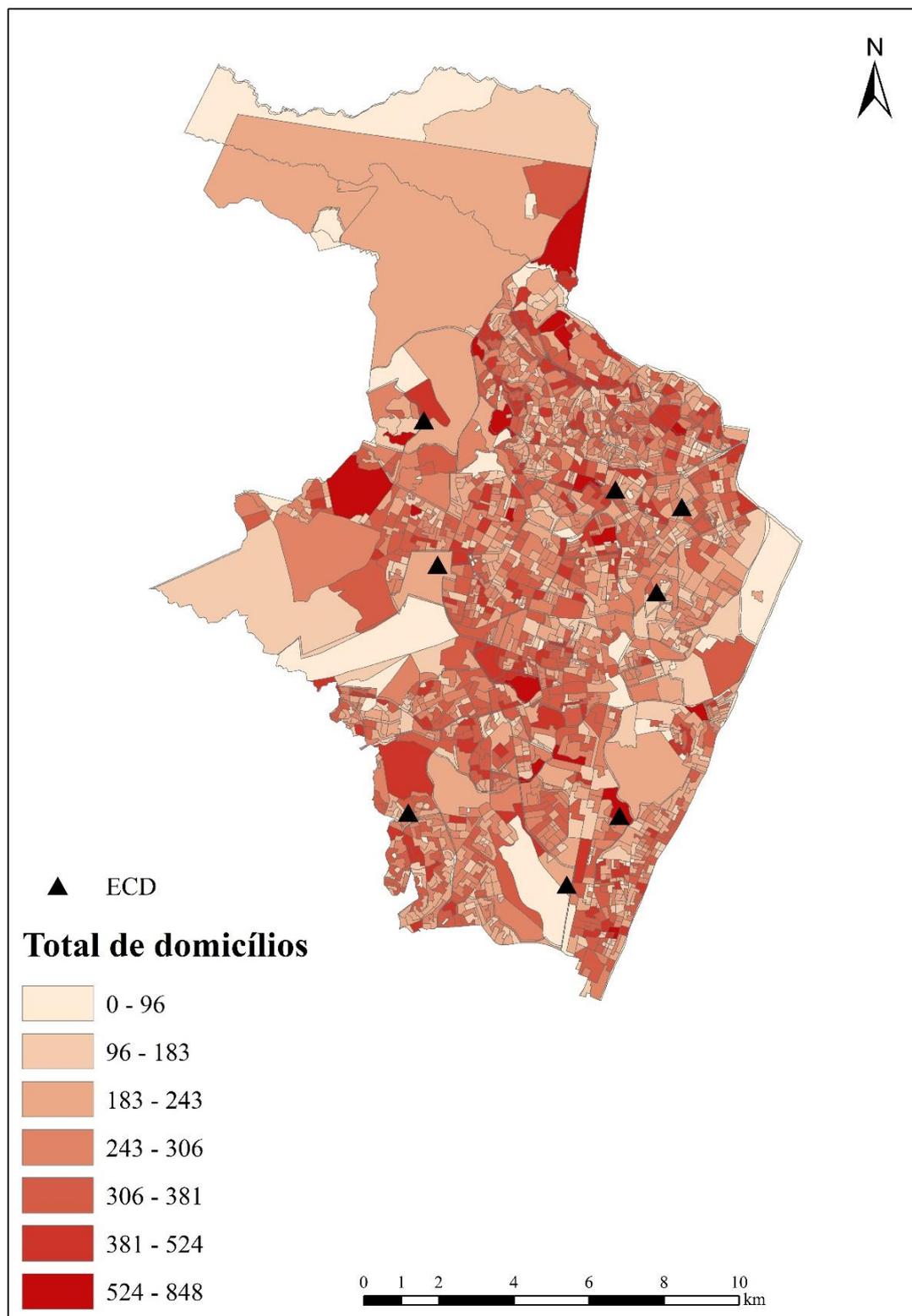
Dois características são importantes nas análises dos domicílios. A primeira é a morfologia. As áreas menos verticais apresentam em sua maioria domicílios distribuídos em terrenos menores e com um adensamento construtivo alto.

**Figura 23** - Uso do solo na cidade do Recife-PE de acordo com o tipo de morfologia predominante.



Fonte – Produzido por Rafael Silva dos Anjos e Ayobami Badiru Moreira. Adaptado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 24** - Número de domicílios por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Por outro lado, as zonas de maior verticalização possuem um menor adensamento horizontal, onde as construções não têm contato direto umas com as outras. Algumas áreas apresentam as duas características, são relacionadas com casas de alto padrão construídas em grandes terrenos.

As ECDs da UFPE e da UFRPE representam a terceira categoria de construções. Ambientes como campus universitários, fábricas e centros de pesquisas como o Instituto Pernambucano de Tecnologia (ITEP) foram construídos no setor Oeste da cidade. Essas áreas estavam longe das áreas mais adensadas da cidade em suas origens.

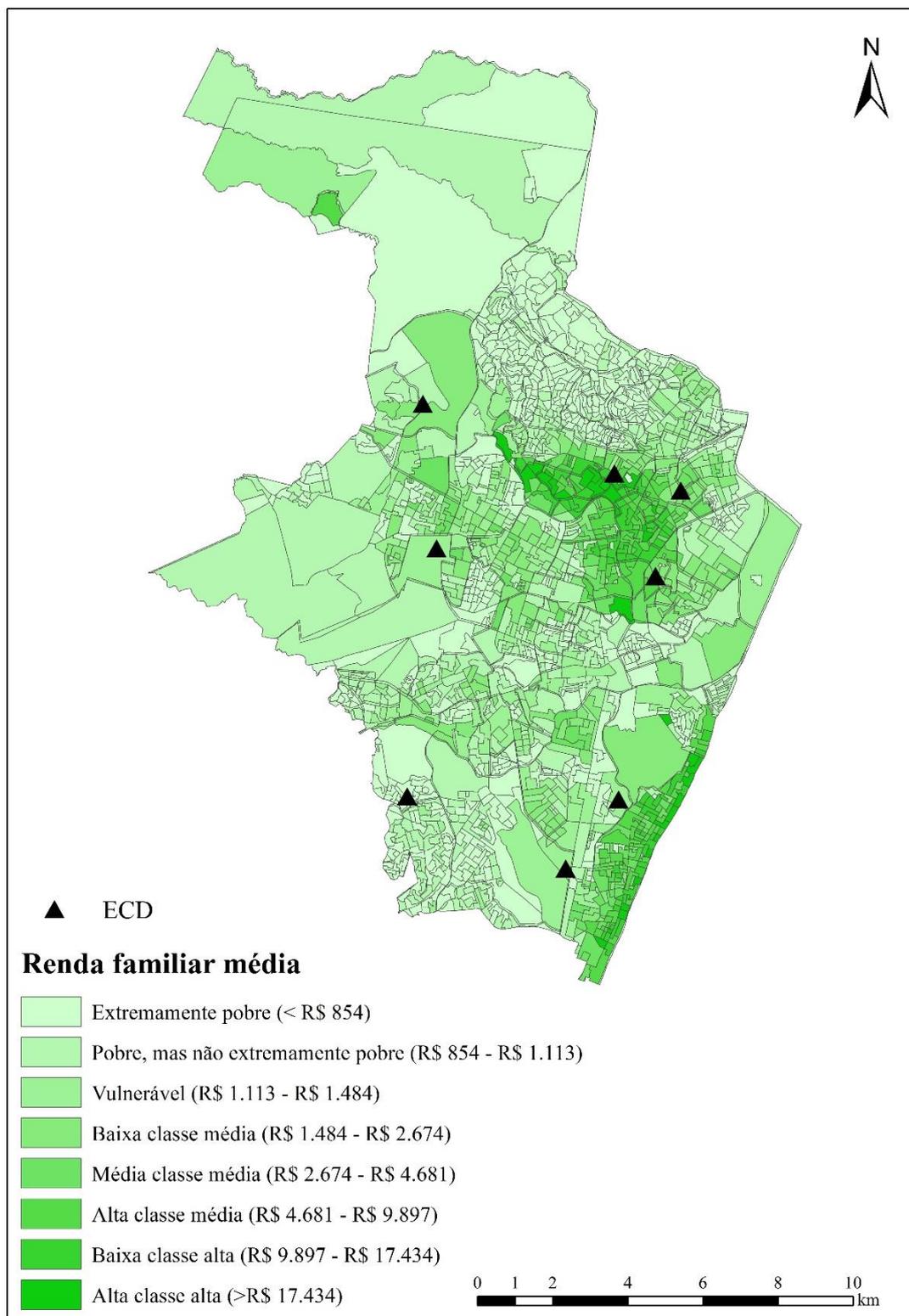
O principal componente da atual morfologia urbana da cidade do Recife é o financeiro. A antiga concentração fundiária da cana-de-açúcar deu lugar a concentração econômica dos serviços. Utilizando a classificação da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) aos dados do censo demográfico do IBGE de 2010, obtivemos uma visão clara de como se distribui a renda na capital pernambucana (**Figura 25**).

O território recifense possui dois bolsões de riqueza perante toda a cidade. O setor Sudeste, que forma a linha litorânea da cidade, e o setor Nordeste. Essas áreas também representam locais de grande verticalização como observamos anteriormente. Como também, não são as áreas de grande densidade populacional.

Fica óbvio que a grande parte da população se encontra nas classes econômicas mais baixas. A cidade apresenta grandes áreas com população extremamente pobre. Essas populações ocupam as áreas de solos e relevos de maior dificuldade de construção, como já discutido. Outra questão importante na discussão é a circulação diária que das populações mais pobres em direção as áreas mais ricas da cidade para exercerem trabalho. Os fluxos acabam tendo o sentido Oeste-Leste como padrão.

As ECDs foram distribuídas em diferentes áreas econômicas. Tamarineira, Campo Grande, Boa Vista e Boa Viagem estão localizadas em áreas com concentração econômica maior. A ECD do IPSEP se localiza em um predomínio de classe média e a estação do Barro em um predomínio de classe pobre. As ECDs da UFRPE e UFPE têm em seus arredores comunidades pobres. O fator financeiro é tão importante na construção das morfologias das áreas como na forma com que a população convive com os efeitos do clima urbano.

**Figura 25** - Renda familiar média por setor censitário no censo do IBGE de 2010, de acordo com as regras da ABEP, para a cidade do Recife-PE.



Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

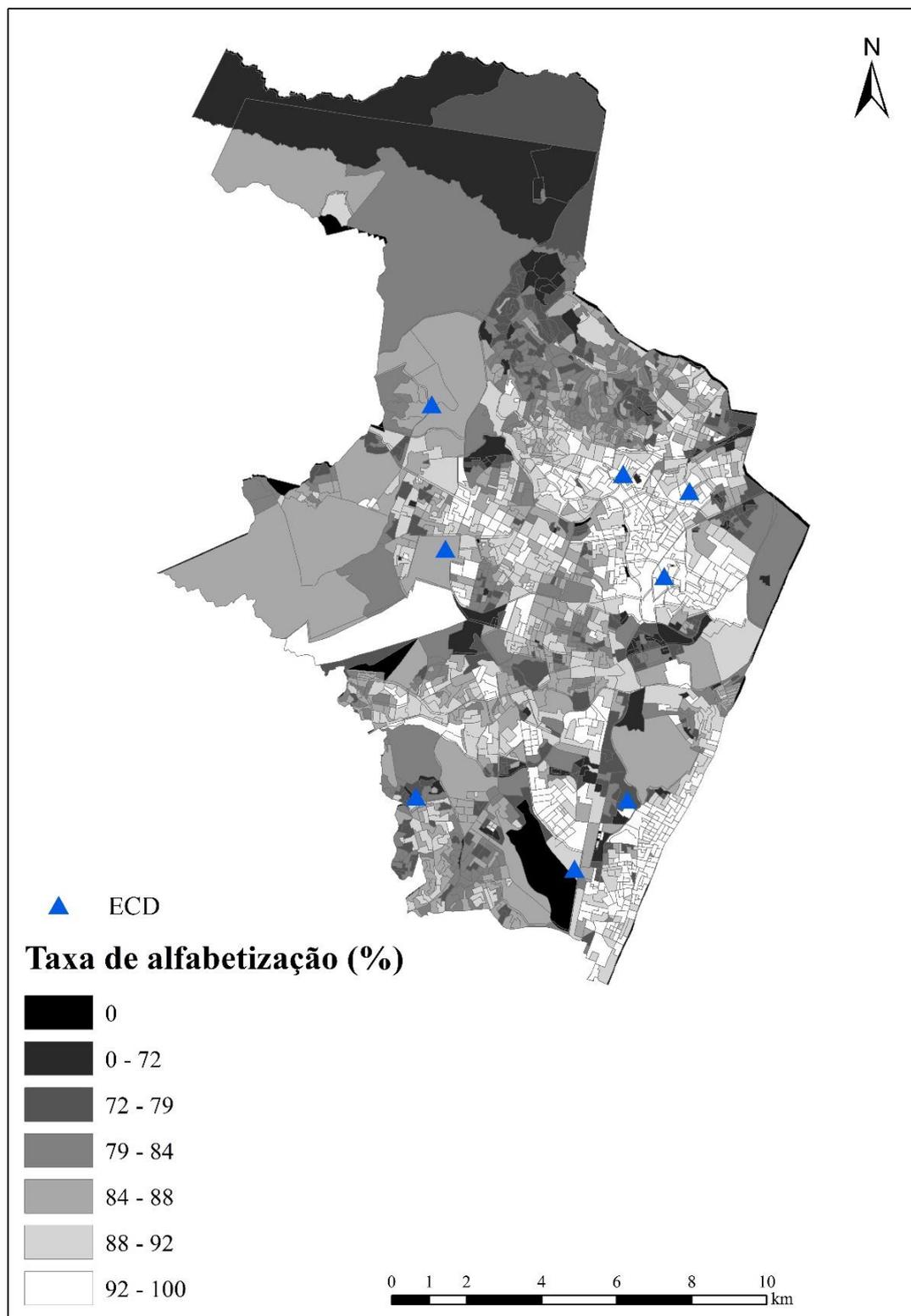
Populações com maior poder aquisitivo tendem a gerar um maior *feedback* positivo no aumento de temperatura das cidades. As populações de maior poder aquisitivo não utilizam o transporte público, que é deficiente, com a mesma frequência, gerando um excesso de carros nas ruas. As populações de maior poder aquisitivo também utilizam recursos, como condicionamento de ar, para diminuir os efeitos das altas temperaturas. Atividades como essas tendem a gerar uma alimentação positiva no aquecimento dos ambientes já modificados pela morfologia antrópica.

Alguns efeitos da divisão econômica também são sentidos em outras esferas. A educacional, por exemplo. Nas áreas de maior poder aquisitivo da cidade as taxas de alfabetização são altas. Todavia, as taxas diminuem na medida em que a renda diminui. Essa relação pode ser facilmente estabelecida se compararmos as **Figuras 26 e 27**.

O abastecimento de água pelo setor público através da COMPESA é, de certa forma, bem distribuído entre as áreas da cidade (**Figura 28**). Resta saber se a distribuição da água é igualitária em termos de dias ofertados. Os setores do extremo Norte e Leste apresentaram os menores valores de domicílios que utilizam água da autarquia supracitada. Outro dado interessante é a utilização da água proveniente de poços no abastecimento (**Figura 29**). As áreas de maior poder aquisitivo utilizam de forma intensiva esse recurso, o que torna essas áreas menos dependentes do abastecimento de água feito pela COMPESA. Outras áreas com destacado uso de poços é o extremo Norte, muito devido as pequenas propriedades rurais, e algumas áreas de colinas de Oeste e Sudoeste.

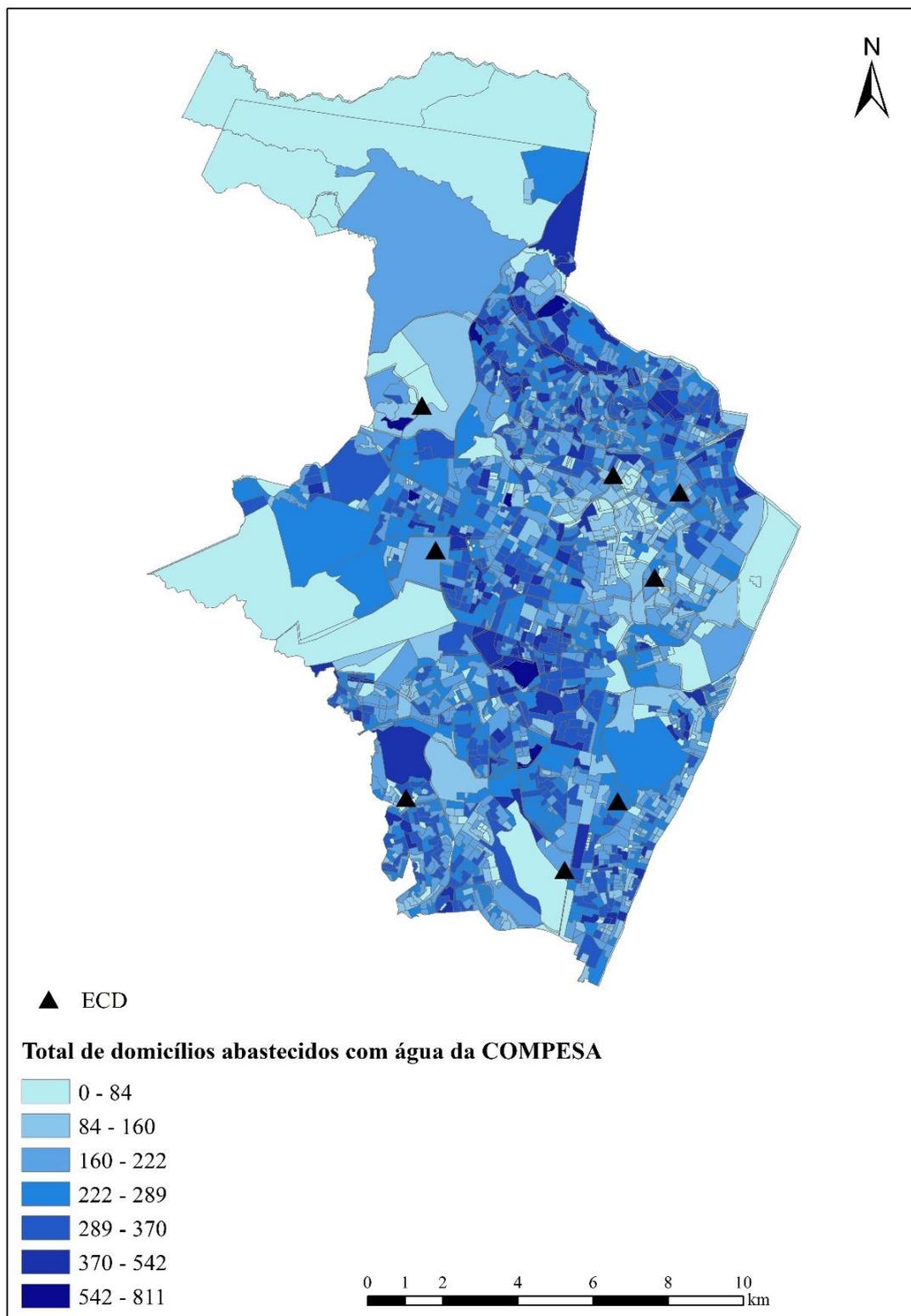
Outros serviços públicos que demonstram grandes diferenças entre as áreas e suas estruturas urbanas é o esgotamento sanitário (**Figura 30**). Tanto as áreas de maior renda familiar quanto as áreas de planície centrais apresentam maior quantidade de domicílios que são beneficiados com estrutura de esgotamento sanitário. As áreas de tabuleiros e colinas no Norte, Oeste e Sudoeste apresentam pouca estrutura para esse serviço público. Poucas áreas do município utilizam fossas sépticas para escoamento de efluentes domésticos (**Figura 31**). Devido as condições técnicas para construção de tais poços, os efluentes domésticos das áreas que não contam com os serviços de esgotamento sanitários são feitos através de fossas rudimentares (**Figura 32**). Uma parte da população utiliza os rios e lagos para escoamento dos efluentes domésticos. A maior parte dessa população se encontra em áreas de baixa renda e suas moradias estão construídas nas margens de rios e canais. As principais áreas que utilizam desse artifício são encontradas no Nordeste, Sudoeste e em algumas partes do Centro-Sul da planície (**Figura 33**).

**Figura 26** - Taxa de alfabetização por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



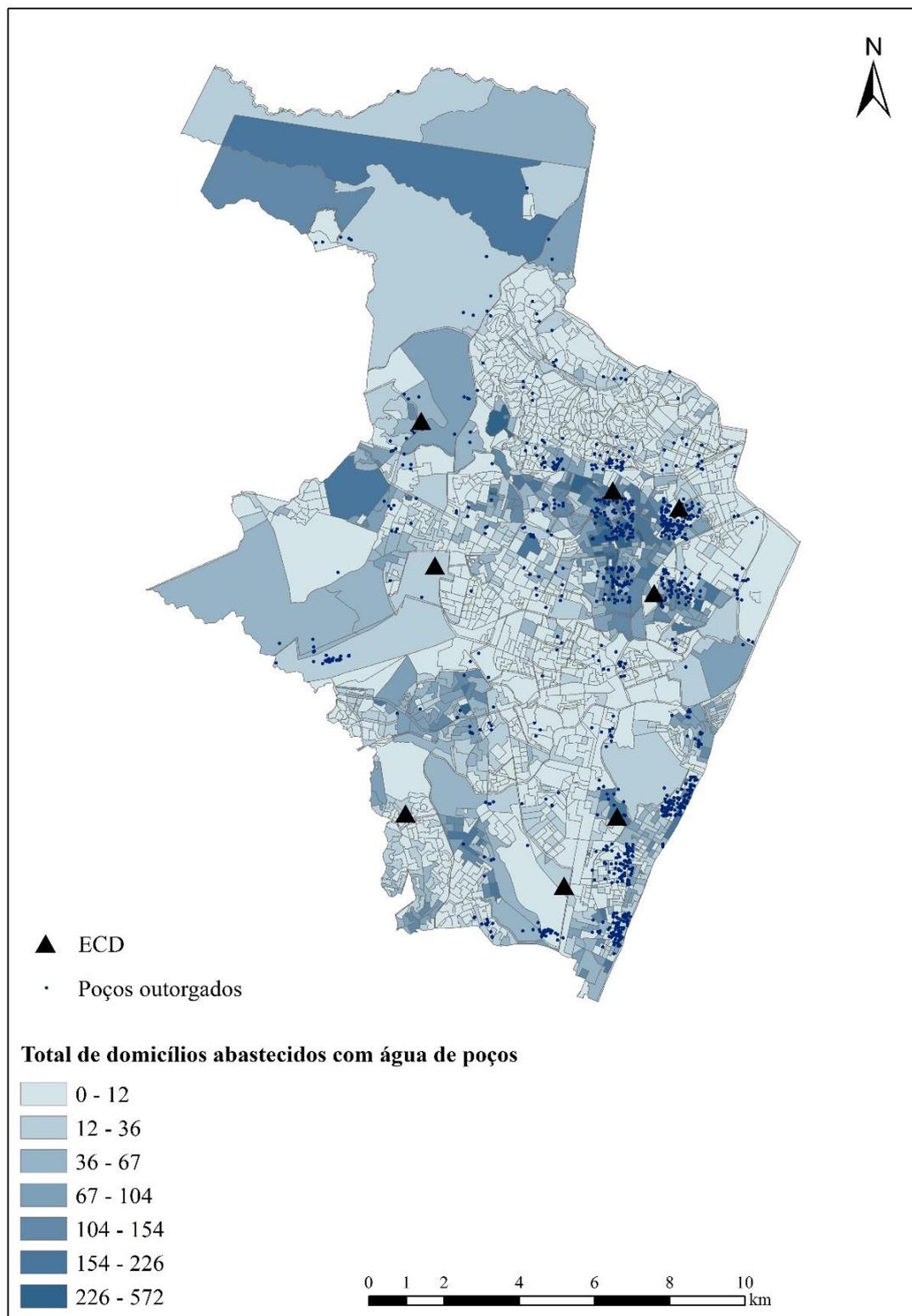
Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 27** - Total de domicílios abastecidos com água encanada pela COMPESA por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



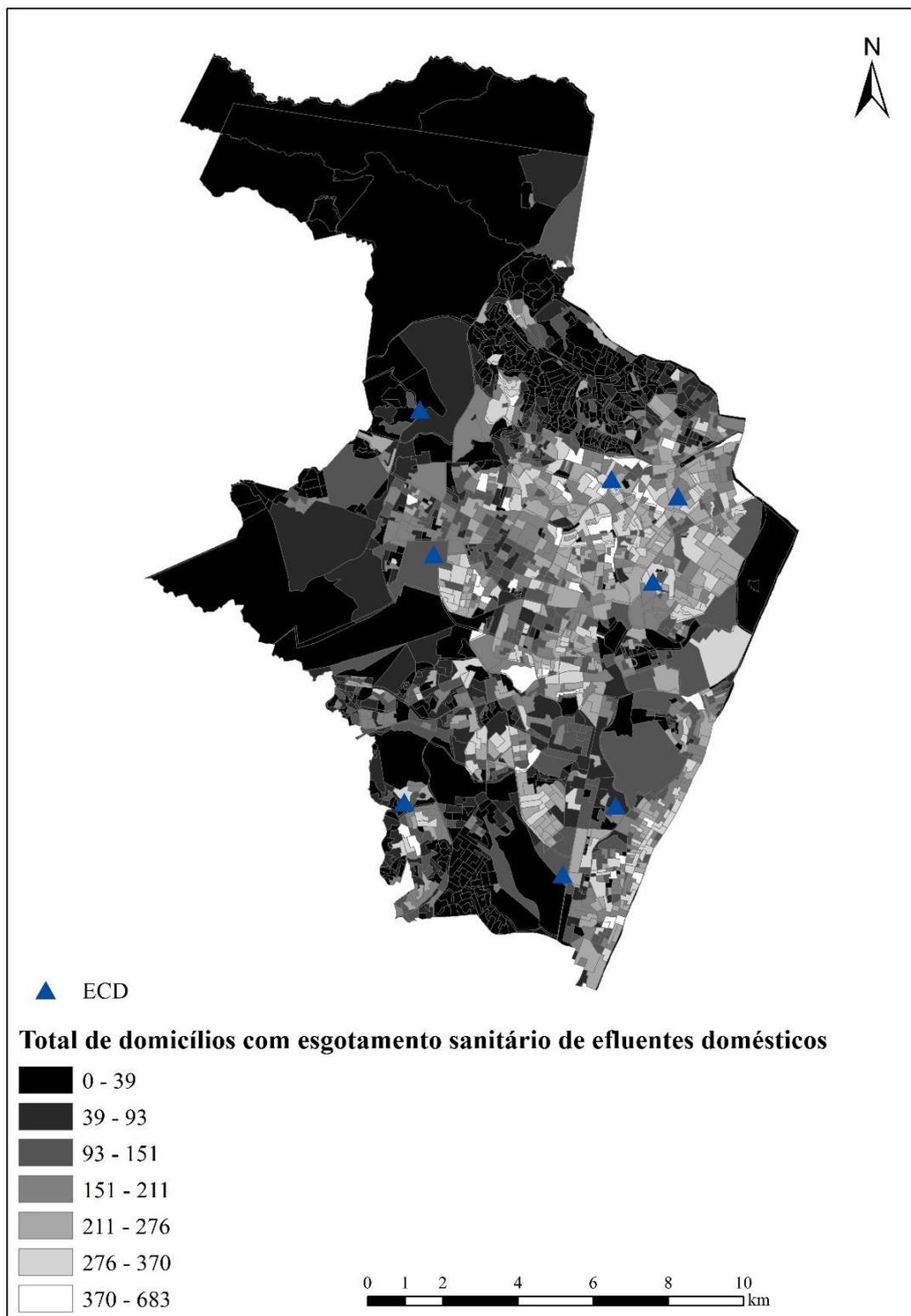
Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 28** - Total de domicílios abastecidos com água proveniente de poços por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



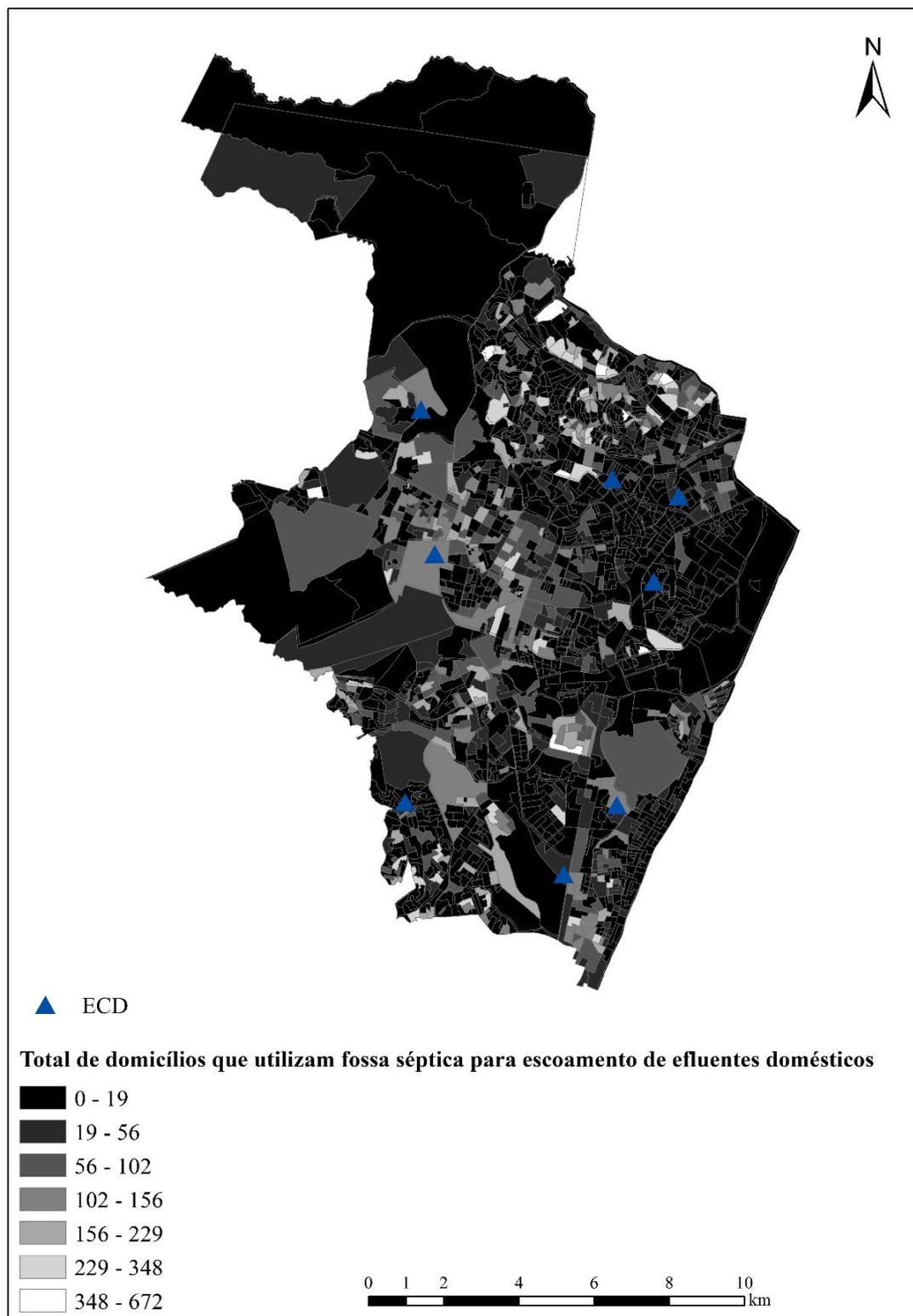
Fonte – IBGE e ZAPE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 29** - Total de domicílios com escoamento sanitário de efluentes domésticos por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



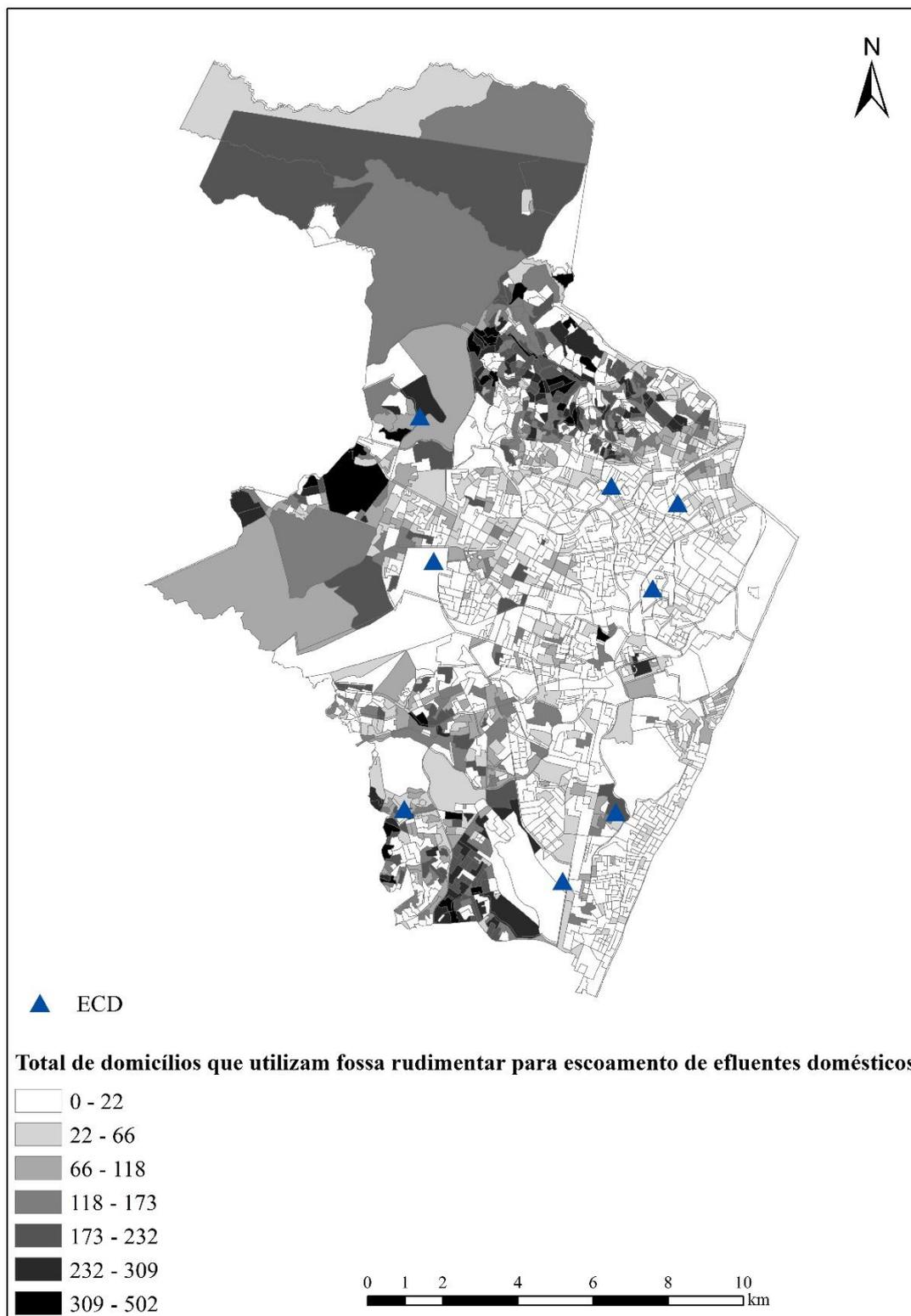
Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 30** - Total de domicílios que utilizam fossa séptica no escoamento de efluentes domésticos por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



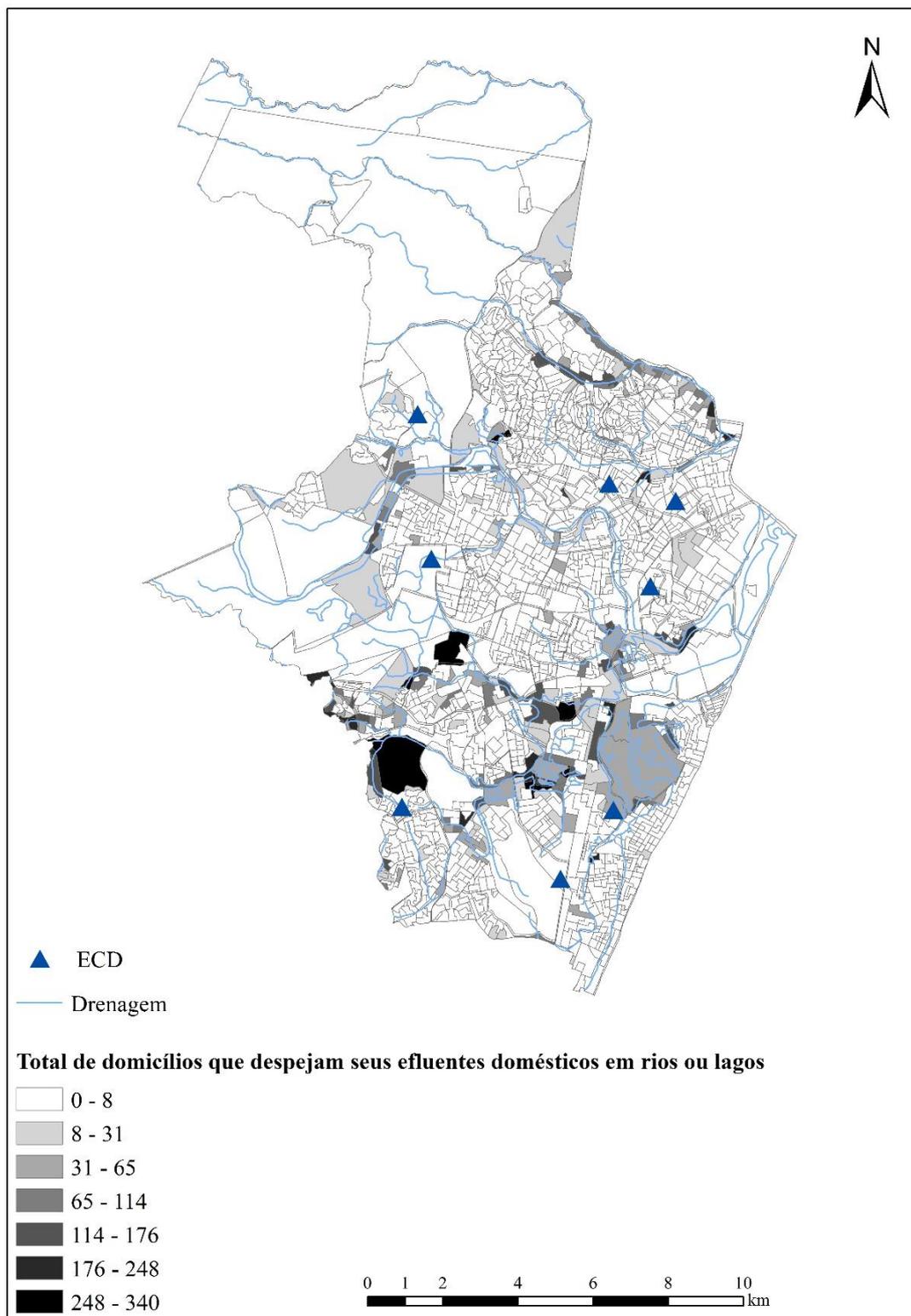
Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 31** - Total de domicílios que utilizam fossa rudimentar no escoamento de efluentes domésticos por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



Fonte – IBGE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 32** - Total de domicílios que utilizam rios, lagos e canais no escoamento de efluentes domésticos por setores censitários no censo demográfico do IBGE de 2010 na cidade do Recife-PE.



Fonte – IBGE e ZAPE. Produzido por Deivide Benicio Soares, Ayobami Badiru Moreira e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A precipitação na capital pernambucana registrada durante o período estudado demonstrou variação espacial nos totais pluviométricos.

O mês de novembro, caracterizado por ser um mês de pouca precipitação, registrou um acumulado médio de 17,9 mm (**Figura 33**). O maior total pluviométrico para o mês foi de 24,6 mm, registrado no sudeste da cidade, próximo a linha litorânea. O menor valor foi registrado no sul da cidade do Recife, próximo da ECD do IPSEP, com o acumulado de 6,3 mm.

O mês de dezembro apresentou acumulado médio de 78 mm (**Figura 34**). O setor oeste, apresentou um acumulado de 104,7 mm, sendo o mais chuvoso. O menor acumulado foi registrado outra vez no Sul. Com total de 25,9 mm.

O mês de janeiro apresentou registros pluviométricos bem distribuídos ao longo de seus dias, exibindo acumulado médio de 111,3 mm (**Figura 35**). O maior acumulado foi registrado no setor Oeste, 159 mm, com o menor registrado no Sul, 65,5 mm.

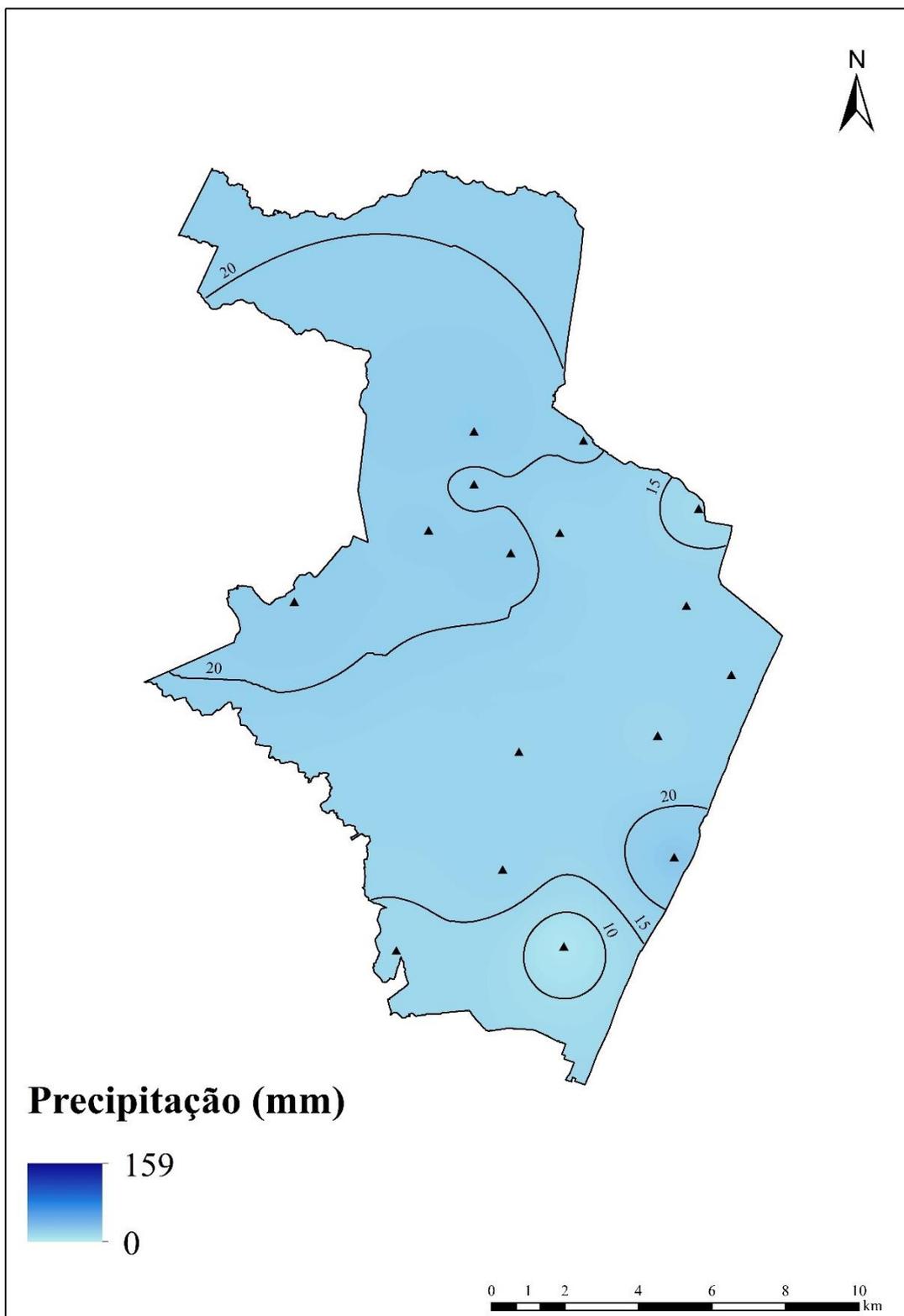
De modo geral, o setor Oeste registrou maiores quantidades de chuva nos três meses de estudo. As ECDs da UFRPE e UFPE estavam localizadas nas áreas de maior registro de chuva. Estando a UFPE próxima do pluviômetro da CEMADEN que registrou os maiores volumes.

As ECDs da Tamarineira, Campo Grande e Boa Vista figuram entre os locais com chuva intermediárias entre os valores máximos e mínimos registrados. Tamarineira e Campo Grande apresentaram maiores valores de chuva próximas, estando Boa Vista abaixo.

Boa Viagem, IPSEP e Barro obtiveram os menos valores de chuva de um modo geral, excetuando-se o mês de janeiro, onde os pluviômetros próximos a ECD do Barro registraram volumes próximos aos encontrados no Nordeste da cidade.

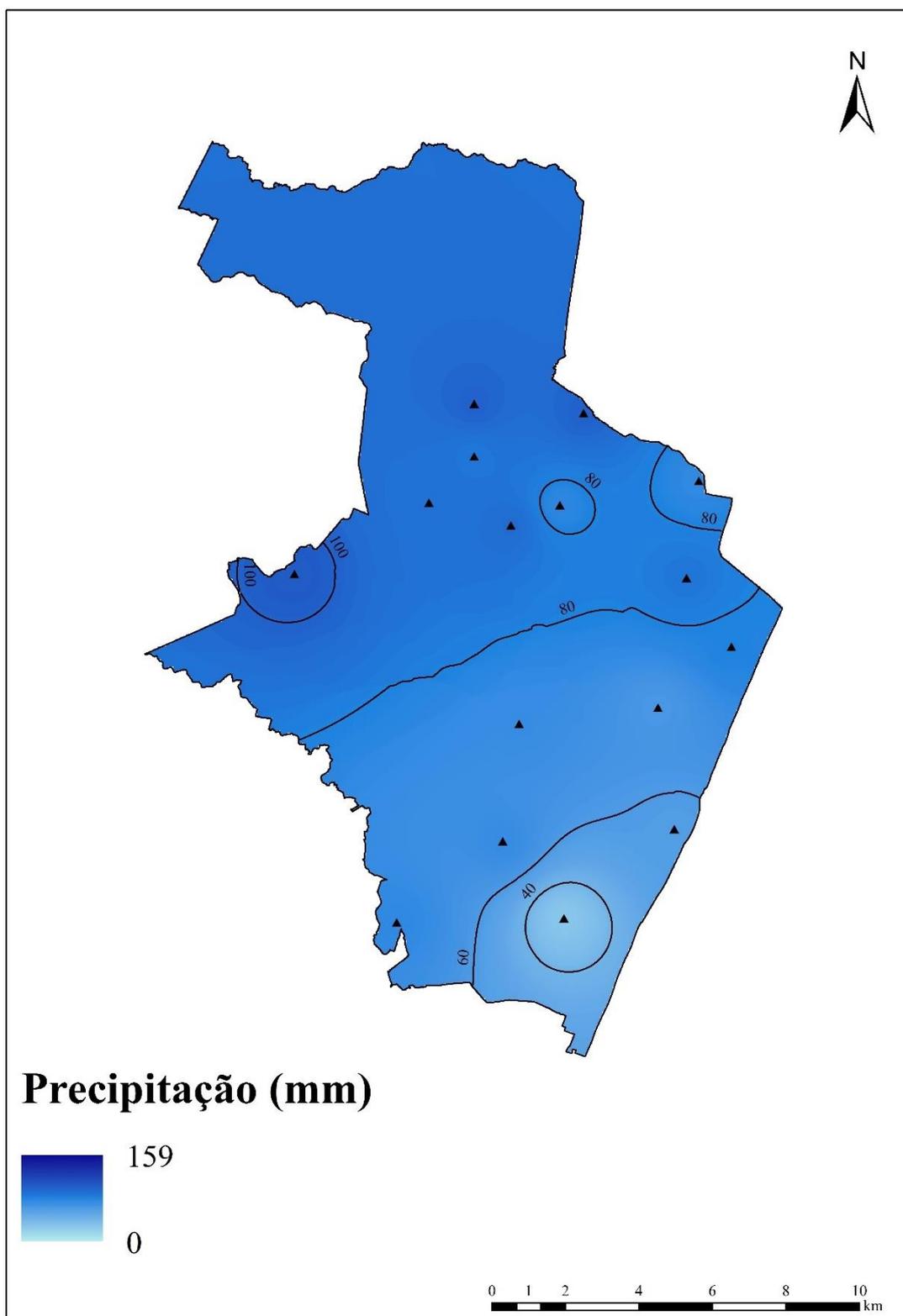
Apesar da diferença na quantidade de chuva, um certo padrão foi observado durante os três meses. As chuvas aumentam do Sudeste para o Noroeste da cidade do Recife.

**Figura 33** - Total pluviométrico para o mês de novembro na cidade do Recife-PE.



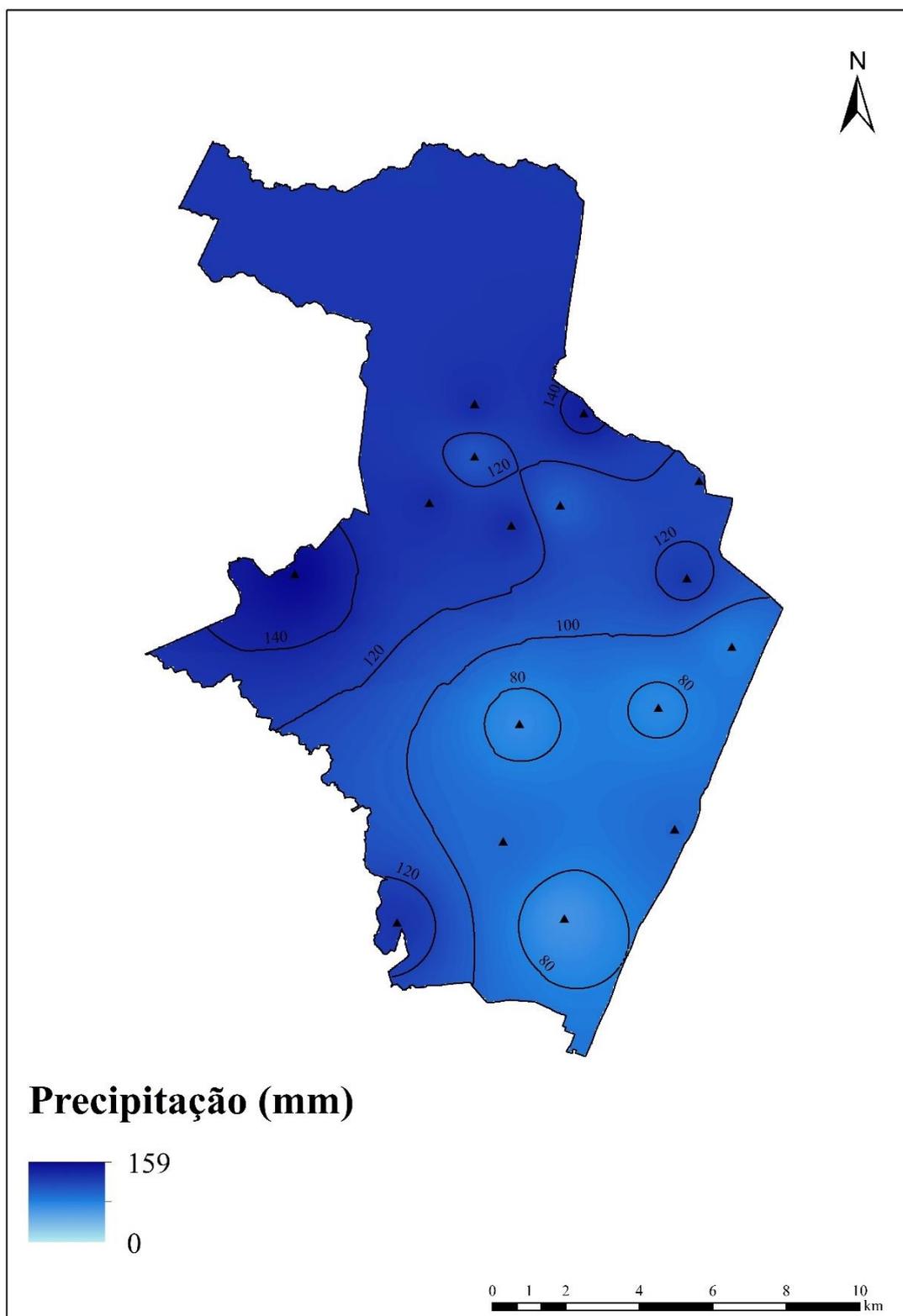
Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 34** - Total pluviométrico para o mês de dezembro na cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Figura 35 - Total pluviométrico para o mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Durante o mês de novembro, 11 dias registraram chuva em pelo menos um dos pluviômetros do CEMADEN, considerando valores iguais e acima de 0,1 mm. Os dias 10 e 18 foram os que registraram os maiores valores de chuva para o mês, considerando a média para todos os pluviômetros naquele dia, ambos registraram 6,8 mm (**Figura 36**).

O mês de dezembro apresentou 22 dias com chuvas registradas (**Figura 37**). 4 dias apresentaram acumulado médio de 10 mm. O maior acumulado médio foi registrado no dia 24, com 33,6 mm.

21 dias com chuva foram registrados no mês de janeiro (**Figura 38**). O mês apresentou os maiores totais pluviométricos, seguindo os padrões climáticos médios. O destaque ficou para os registros dos dias 9 e 29, com totais médios de 33,2 mm e 28,1 mm.

Distribuindo a precipitação ao longo das horas, foi percebido que a quantidade de dias em que chove durante a madrugada e manhã é superior do que os dias em que choveram durante a tarde ou noite. Esse resultado se repetiu durante os três meses observados (**Figura 39**).

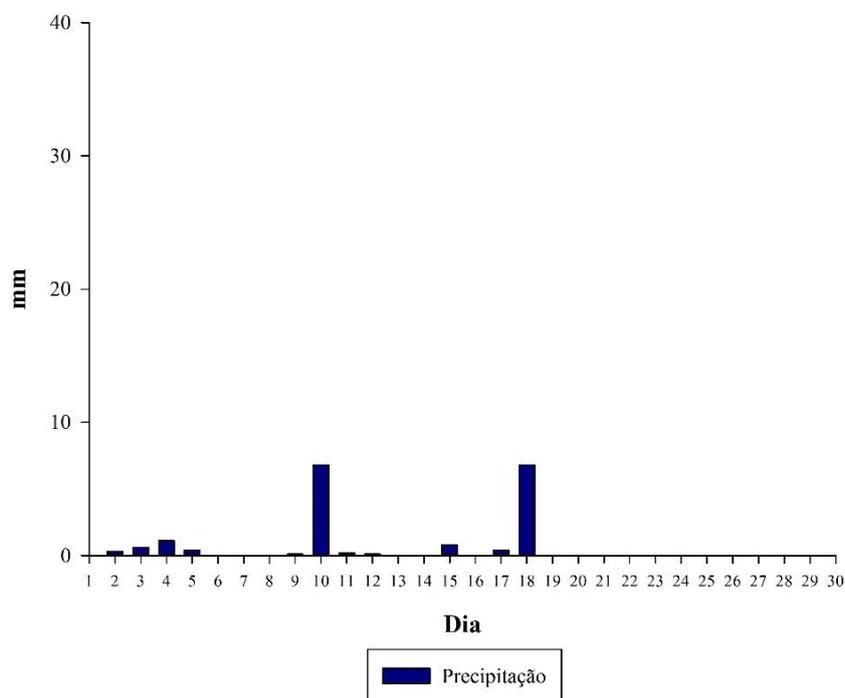
Durante o mês de novembro foram registrados 7 dias com chuvas às 06:00h, 07:00h e 08:00h. O mês de dezembro registrou 17 dias chuvosos às 09:00h, além de valores de 12 e 13 dias entre 05:00h e 11:00h. Em janeiro foram registrado muitos dias com chuva entre 02:00h e 11:00h. O horário com mais dias chuvosos em janeiro foi 07:00h, com 16 dias.

Distribuindo os totais pluviométricos médios entre as horas podemos observar uma mudança de padrão nos meses de dezembro e janeiro. Apesar de mais dias chuvosos serem registrados durante a manhã, os maiores totais pluviométricos médios foram registrados no período da tarde nesses dois meses (**Figura 40**).

No mês de novembro a maior quantidade de chuva foi registrada às 06:00h do dia 18, com 2,1 mm. No mês de dezembro as maiores chuvas foram contabilizadas às 11:00h e 14:00h do dia 24. Em janeiro, os maiores valores em uma hora foram registrados às 14:00h do dia 9, com 8,8 mm, e no dia 29 às 17:00h, com um total de 14,8 mm. A chuva das 17:00h no dia 29 de janeiro foi o maior acumulado médio por hora.

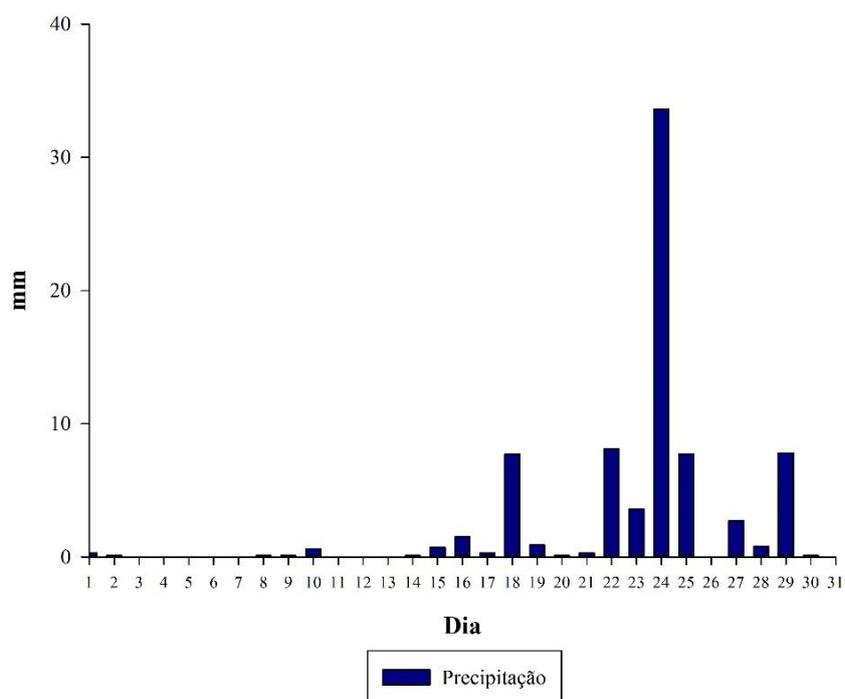
Na **figura 41** podemos observar o valor médio durante as horas para os três meses. Os valores seguem o mesmo padrão dos totais registrados.

**Figura 36** – Distribuição média da precipitação ao longo dos dias no mês de novembro na cidade do Recife-PE.



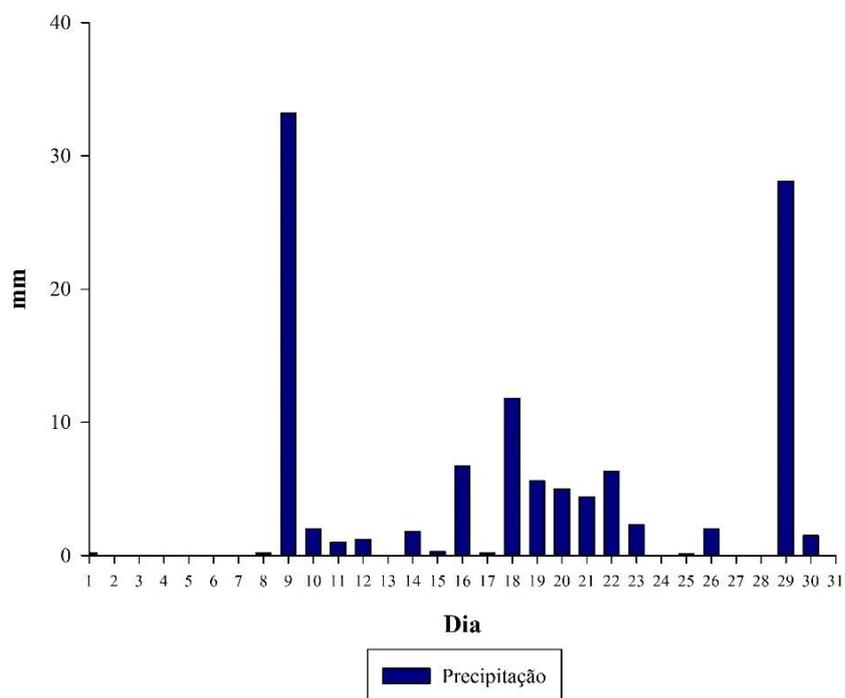
Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 37** - Distribuição da precipitação ao longo dos dias no mês de dezembro na cidade do Recife-PE.



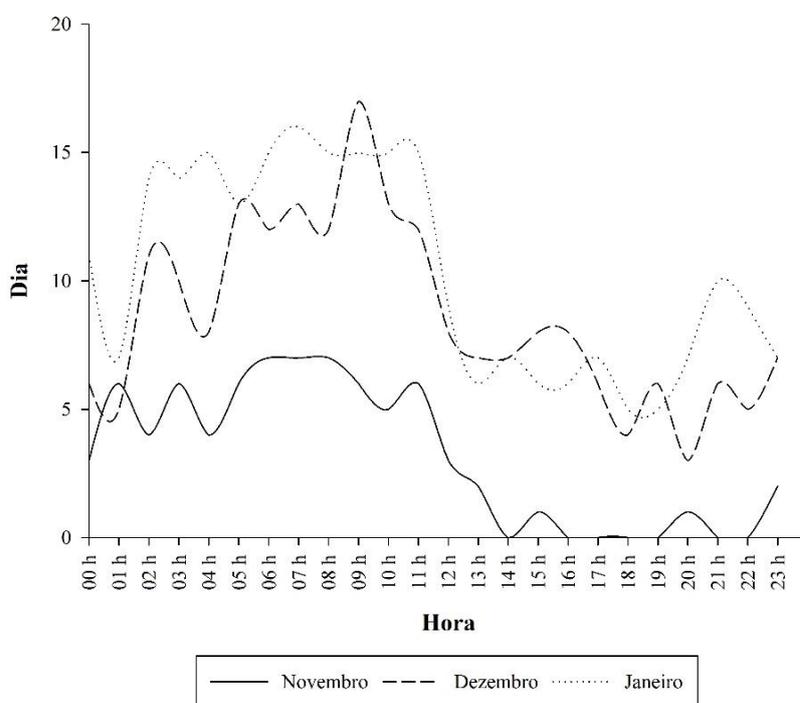
Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 38** - Distribuição da precipitação ao longo dos dias no mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



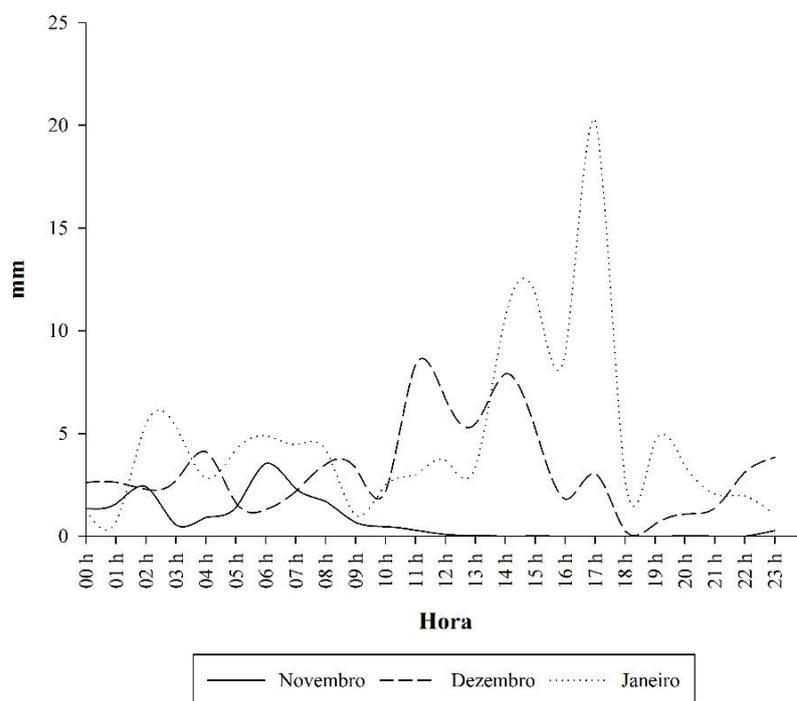
Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 39** - Quantidade de dias chuvosos em relação as horas do dia na cidade do Recife-PE.



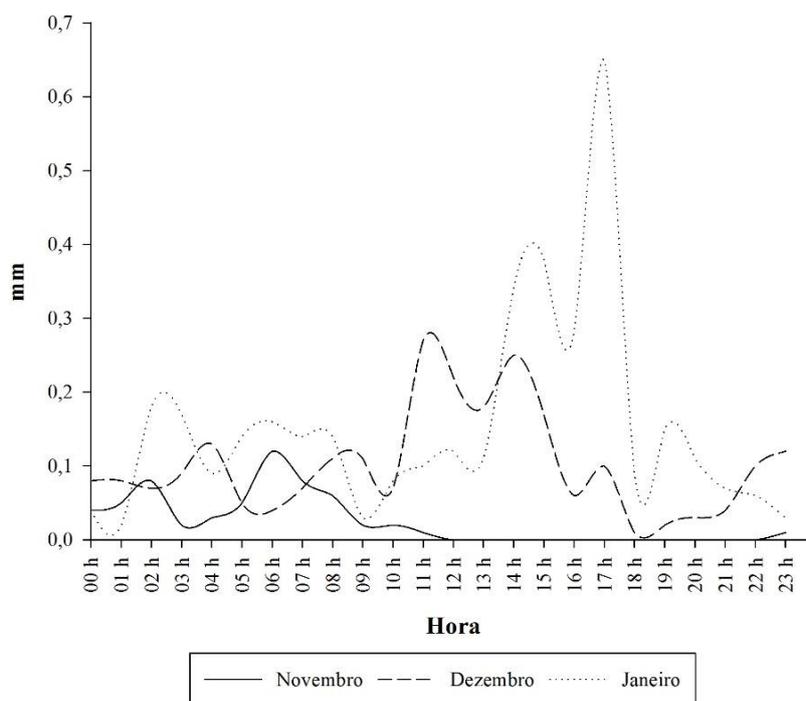
Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 40** - Total pluviométrico em relação as horas do dia na cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 41** - média pluviométrica em relação as horas do dia na cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3.2 PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES

Durante os 3 meses de coleta de dados três sistemas atmosféricos foram os principais causadores de chuvas, as brisas marítimas, os vórtices ciclônicos de altos níveis e a zona de convergência intertropical. Dentre os eventos destacados, foram escolhidos três dias em que os fenômenos atuaram para análises. Os dias escolhidos foram 10 de novembro, 9 e 29 de janeiro.

A brisa marítima é um sistema de vento local, de escala diurna, decorrente das diferenças térmicas entre as superfícies terrestres e marítimas que elevam as diferenças de pressão do ar em baixos níveis (TEIXEIRA, 2008). As brisas foram responsáveis pela precipitação ocorrida no dia 10 de novembro (**Figura 42**).

No dia 9 de janeiro dois sistemas atuaram juntos no condicionamento das chuvas, um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (**Figura 43**).

O VCAN consiste em um sistema de baixa pressão em grande escala que se forma na alta troposfera e cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que sua periferia (CAVALCANTI et, al., 2009; GAN, 1983). A maior frequência do VCAN no nordeste brasileiro é entre os meses de novembro e março; os eventos pluviométricos associados costumam ocorrer nas regiões periféricas do vórtice, onde há incidência do ar quente e úmido proveniente do oceano, sendo mais intensa no sentido do deslocamento do vórtice. Em contrapartida, em sua parte central ocorre subsidência de ar seco, mais frio, que inibe a formação de nuvens

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), é uma faixa de umidade formada pelo cisalhamento dos ventos alísios. Se movimenta latitudinalmente devido ao aquecimento e o resfriamento da superfície do oceano Atlântico (NÓBREGA; SANTIAGO, 2014).

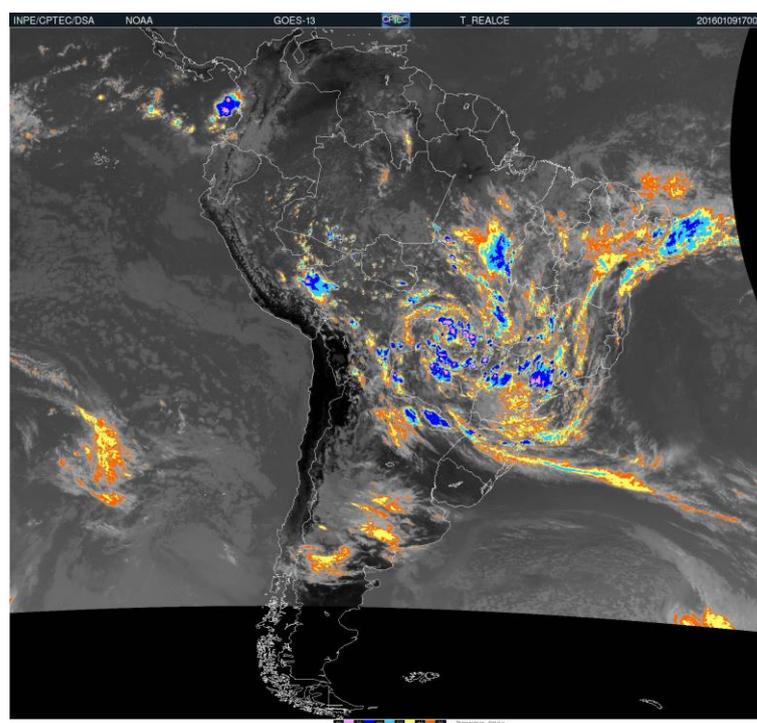
O dia 29 de janeiro apresentou um fenômeno raro chamado de microexplosão (*microburst*) atuando junto com um VCAN (**Figura 44**). Em geral, uma microexplosão ocorre abaixo de nuvens do tipo cumulonimbus (cb), que são nuvens de desenvolvimento vertical de massa muito intenso e que frequentemente apresentam atividades elétricas (MOREIRA et al., 2017; PASCUAL, 1995) É caracterizada como uma coluna de ar descendente de vento de alta intensidade e sobre uma pequena extensão que, ao atingir o solo, se espalha com potencial capacidade destrutiva.

**Figura 42** – Imagem do satélite GOES-13 para o dia 10 de novembro do ano de 2015 às 02:00h.



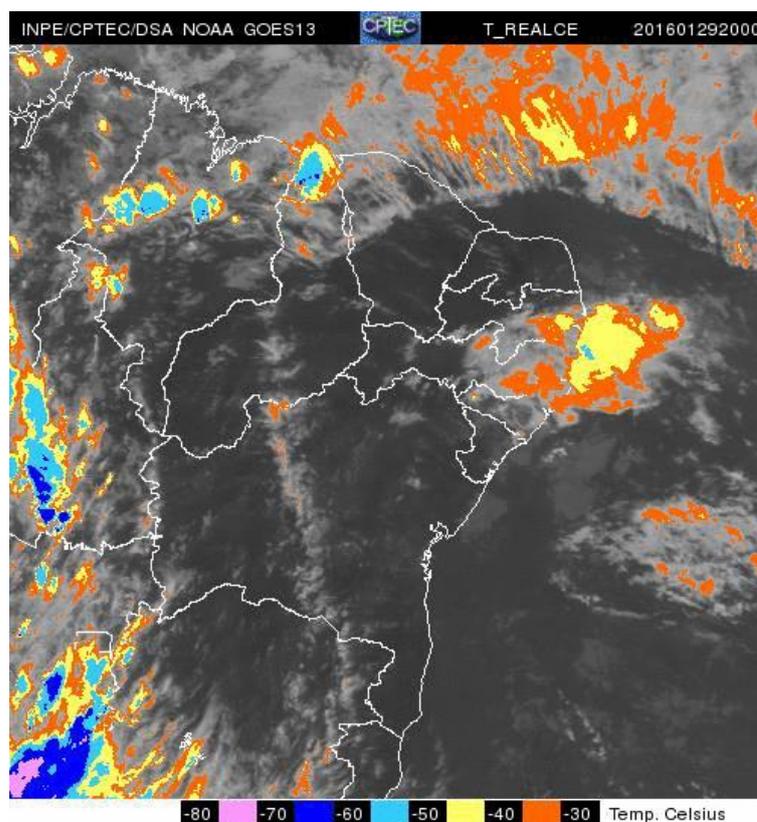
Fonte - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

**Figura 43** - Imagem do satélite GOES-13 para o dia 9 de janeiro do ano de 2016 às 14:00h.



Fonte - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

**Figura 44** - Imagem do satélite GOES-13 para o dia 29 de janeiro do ano de 2016 às 17:00h.



Fonte - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

### 3.3 ANÁLISE DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

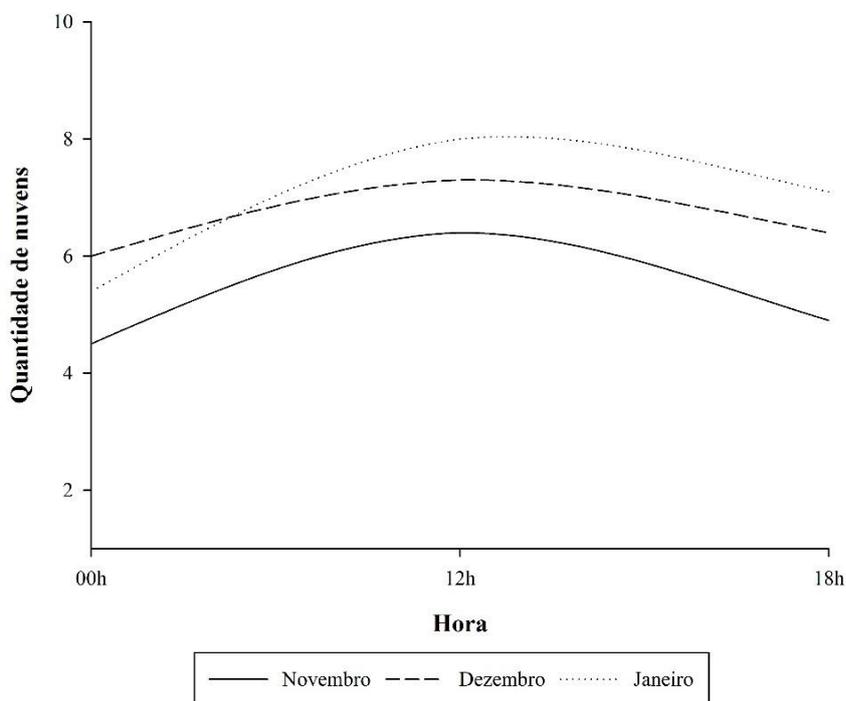
#### 3.3.1 Cobertura de nuvens

A distribuição da cobertura de nuvens durante os três meses estudados seguiu o mesmo padrão em sua distribuição diária (**Figura 45**).

Em média, é sempre presente quantidades de nuvens acima de  $\frac{1}{4}$  do céu na cidade do Recife segundo os dados recolhidos no INMET. A nebulosidade é crescente ao longo dos meses de novembro, dezembro e janeiro.

Analisando os 3 horários disponibilizados pelo INMET (00:00h, 12:00h e 18:00h) podemos perceber que os valores médios do meio dia apresentam maior nebulosidade do que a madrugada e o início da noite.

**Figura 45** - Cobertura de nuvens média para os meses de novembro, dezembro e janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte - INMET. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

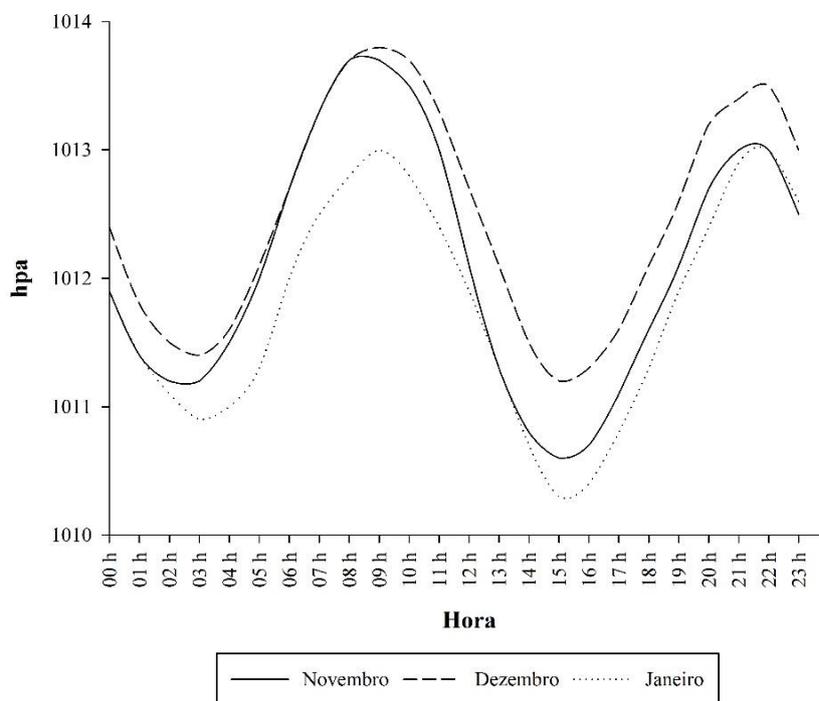
### 3.3.2 Pressão atmosférica

Foi pequena a variação da pressão atmosférica ao longo dos três meses estudados (**Figura 46**). A menor média horária foi registrada 15h do mês de janeiro, 1010,3 hpa. A maior média horária foi registrada às 09:00h do mês de dezembro, 1013,8 hpa.

Os padrões horários são muito próximos, variando em média 1 hpa nas maiores diferenças. Os períodos de maior pressão registrados ao longo do dia correspondem com a manhã, das 07:00h até as 09:00h, e durante a noite, das 20:00h às 22:00h.

A pressão média no mês de dezembro foi a maior entre os meses estudados, 1012,5 hpa. Novembro apresenta a segunda maior média, registrando 1012,1 hpa, enquanto janeiro apresentou 1011,8 hpa, a menor média.

**Figura 46** - Pressão atmosférica horária média para os meses de novembro, dezembro e janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte - INMET. organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

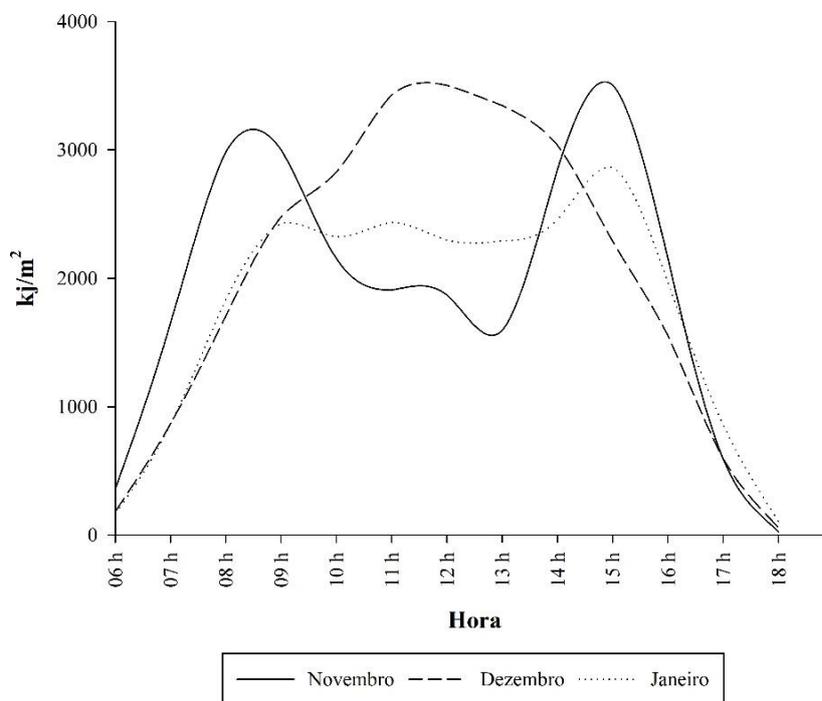
### 3.3.3 Radiação solar

O padrão de radiação solar captado pela estação meteorológica do INMET difere entre os meses estudados (**Figura 47**).

Os meses de novembro e janeiro estão com todos os dados disponíveis para seus respectivos dias, porém, há uma falha nos dados referente ao mês de dezembro. Os dados de radiação no mês de dezembro só seguem até o dia 17, logo as médias horárias foram feitas de acordo com esse período.

Enquanto os meses de novembro e janeiro tiveram o máximo de radiação captada às 15:00h, com 3506 kJ/m<sup>2</sup> e 2864 kJ/m<sup>2</sup> respectivamente, no mês de dezembro o valor médio máximo vou calculado para as 12:00h, com 3504 kJ/m<sup>2</sup>.

**Figura 47** - Radiação solar horária média para os meses de novembro, dezembro e janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte - INMET. organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

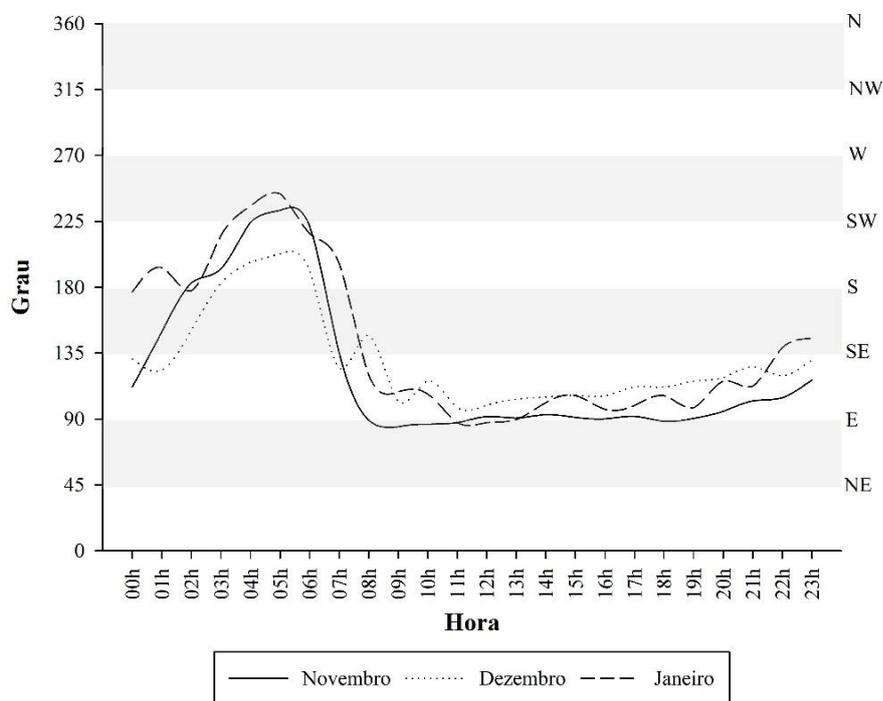
### 3.3.4 Direção do vento

A direção do vento na capital pernambucana seguiu o mesmo padrão horário médio para os três meses estudados (**Figura 48**). Das 09:00h até 23:00h os ventos seguem um padrão Leste (E) Sudeste (SE), dessa forma uma atenção especial foi dada para as análises da morfologia urbana em relação as ECDs nessa direção.

A partir das 00:00h os ventos iniciam uma mudança de direção. A mudança em relação ao Oeste culmina no fim da madrugada com os ventos médios vindos da posição Sudoeste (SW). Nos três meses o valor máximo em direção a Sudoeste ocorre às 05:00h.

A variação na direção do vento é importante no entendimento dos dados de temperatura e umidade resultantes das ECDs.

**Figura 48** - Direção do vento horária média para os meses de novembro, dezembro e janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte - INMET. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

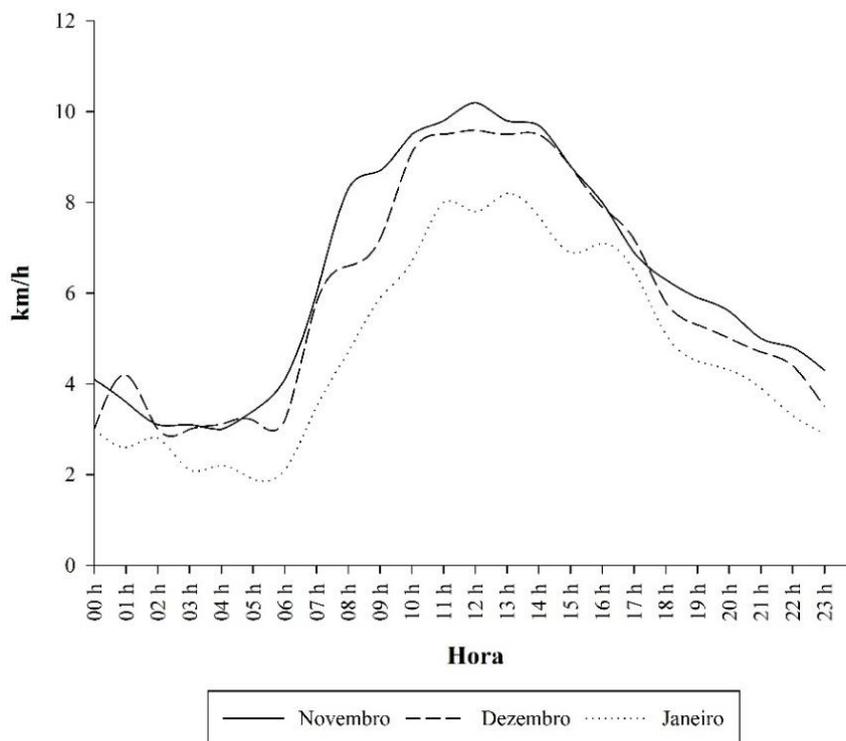
### 3.3.5 Velocidade e rajada de vento

A velocidade do vento variou pouco em relação aos meses estudados. Variou pouco também as rajadas de vento, que seguiram o mesmo padrão (**Figuras 49 e 50**).

A direção do vento tem influência importante na velocidade e rajada dos ventos. A partir das 05:00h a velocidade e rajada aumentam vertiginosamente, quando a direção do vento inicia o padrão Leste. A dinâmica de ventos oceano-continente a partir do aquecimento-resfriamento mantêm essa dinâmica constante. Fica fácil observar que o padrão de velocidade dos ventos segue, também, o movimento aparente solar.

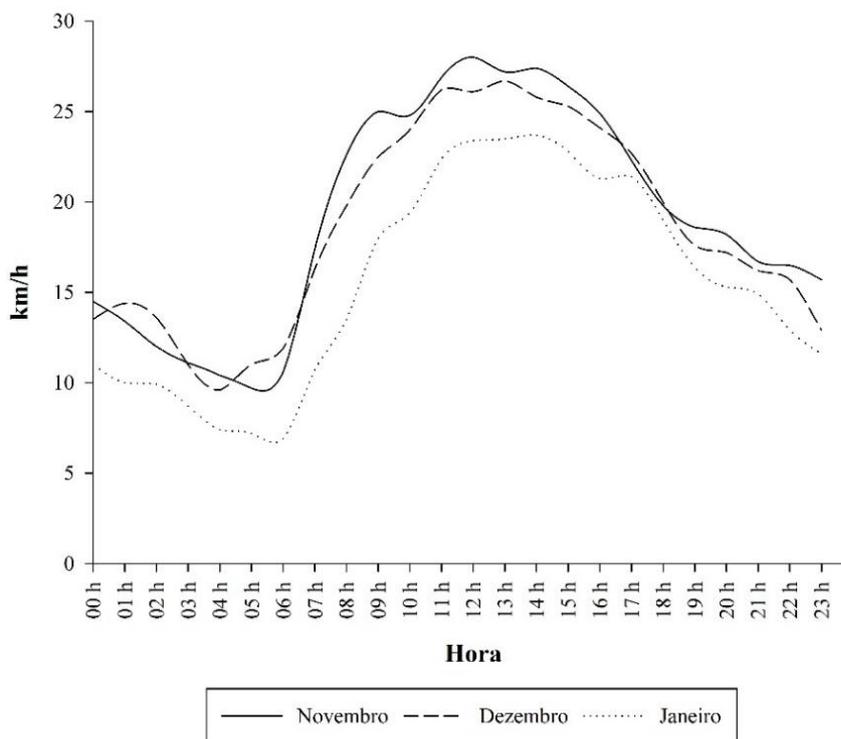
A maior velocidade e rajada horária média foi registrada no mês de novembro às 12:00h, com 10,2 km/h e 28 km/h concomitantemente. O mês de novembro apresentou as maiores velocidades no padrão dos ventos e rajadas, seguido por dezembro. O padrão se mostrou contrário ao padrão de chuvas na cidade.

**Figura 49** - Velocidade do vento horária média para os meses de novembro, dezembro e janeiro



Fonte - INMET. organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 50** - Rajada de vento horária média para os meses de novembro, dezembro e janeiro



Fonte - INMET. Organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3.4 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

#### 3.4.1 Temperatura mensal média

As diferenças médias entre as temperaturas das ECDs não apresentam grandes amplitudes entre o período de estudo (**Figuras 51, 52 e 53**). O mês de novembro apresentou temperatura média, entre todas as ECDs, de 27,4 °C, dezembro apresentou 27,5 °C e janeiro, 27,8 °C.

Em média a ECD que apresentou menor valor no mês de novembro foi a do Barro. Essa estação apresentou média de 26,9 °C, estando 1,4 °C mais fria que a ECD que apresentou o maior registro médio para novembro (IPSEP, 28,3 °C). O registro médio mais elevado foi também a ECD do IPSEP (28,2 °C) no mês de dezembro, com 1,2°C maior que o menor valor, registrado na estação do Barro (26,9 °C). O mês de janeiro apresentou a ECD do Barro com o menor valor médio, com 27,3°C, trazendo uma mudança na máxima. Em janeiro a estação da Boa Vista apresentou 28,3°C, 1°C a mais que a ECD do Barro.

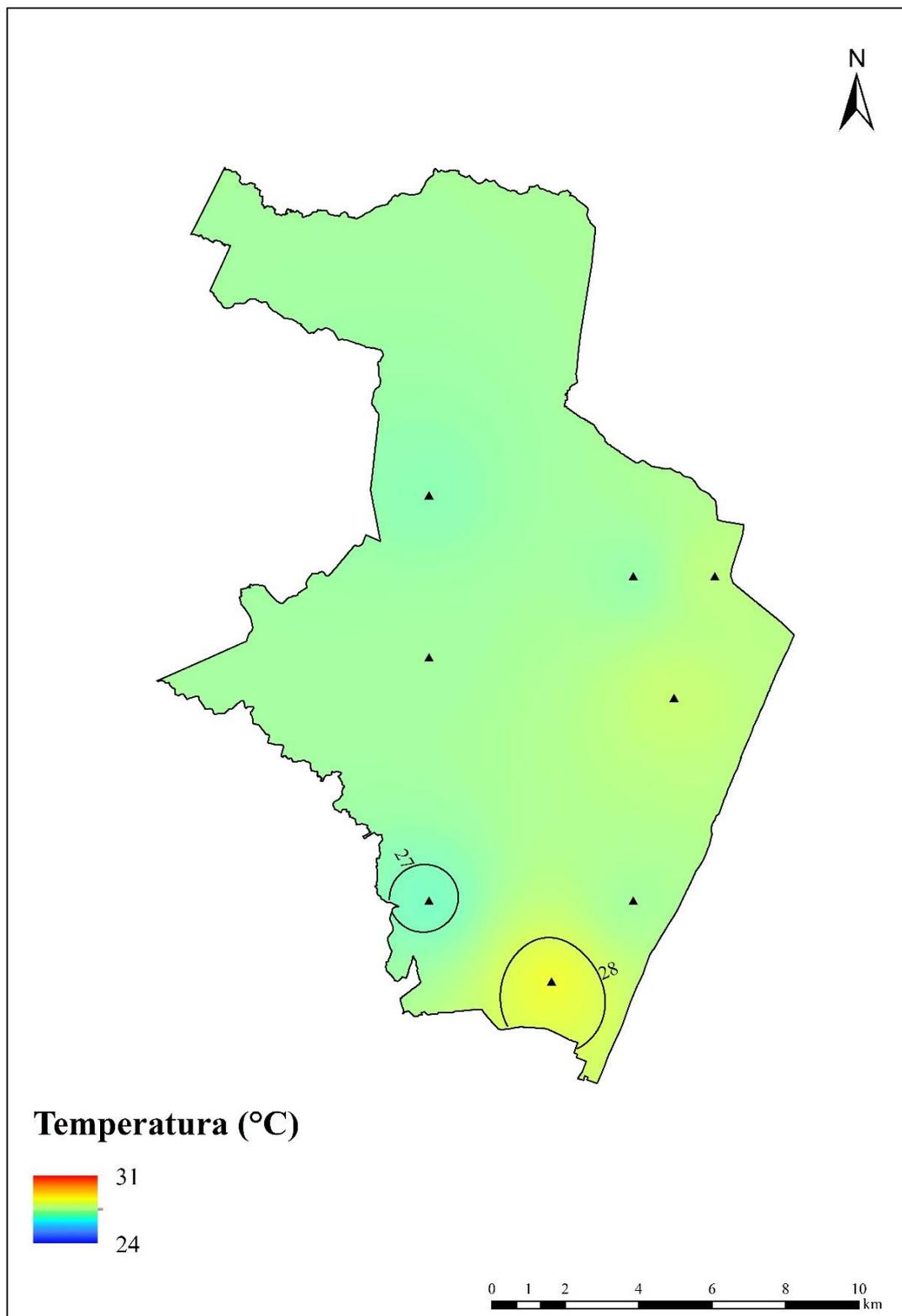
Os resultados no setor sudeste, com médias maiores em Boa Viagem e IPSEP, corroboram com o que observaram Moreira e Galvêncio (2007). Os autores comentam a importância da “barreira orográfica” formada pelas edificações horizontais na orla da praia de Boa Viagem. Comentam que “essa barreira impede a penetração dos ventos vindos do oceano, que atreladas à reduzida cobertura vegetal e alta densidade de ocupação contribui para uma maior concentração de calor”.

Moreira, Nóbrega e Silva (2013) descobriram que o fluxo de calor sensível nas áreas mais urbanizadas da cidade é muito maior que nas áreas menos urbanizadas.

“O fluxo de calor sensível é um importante componente do balanço de energia e tem grande relevância em estudos de clima urbano que visam o monitoramento de variáveis ambientais, podendo ser determinante nas áreas susceptíveis ao aquecimento da temperatura do ar e desconforto térmico” (MOREIRA, NÓBREGA e SILVA, 2013, p. 154).

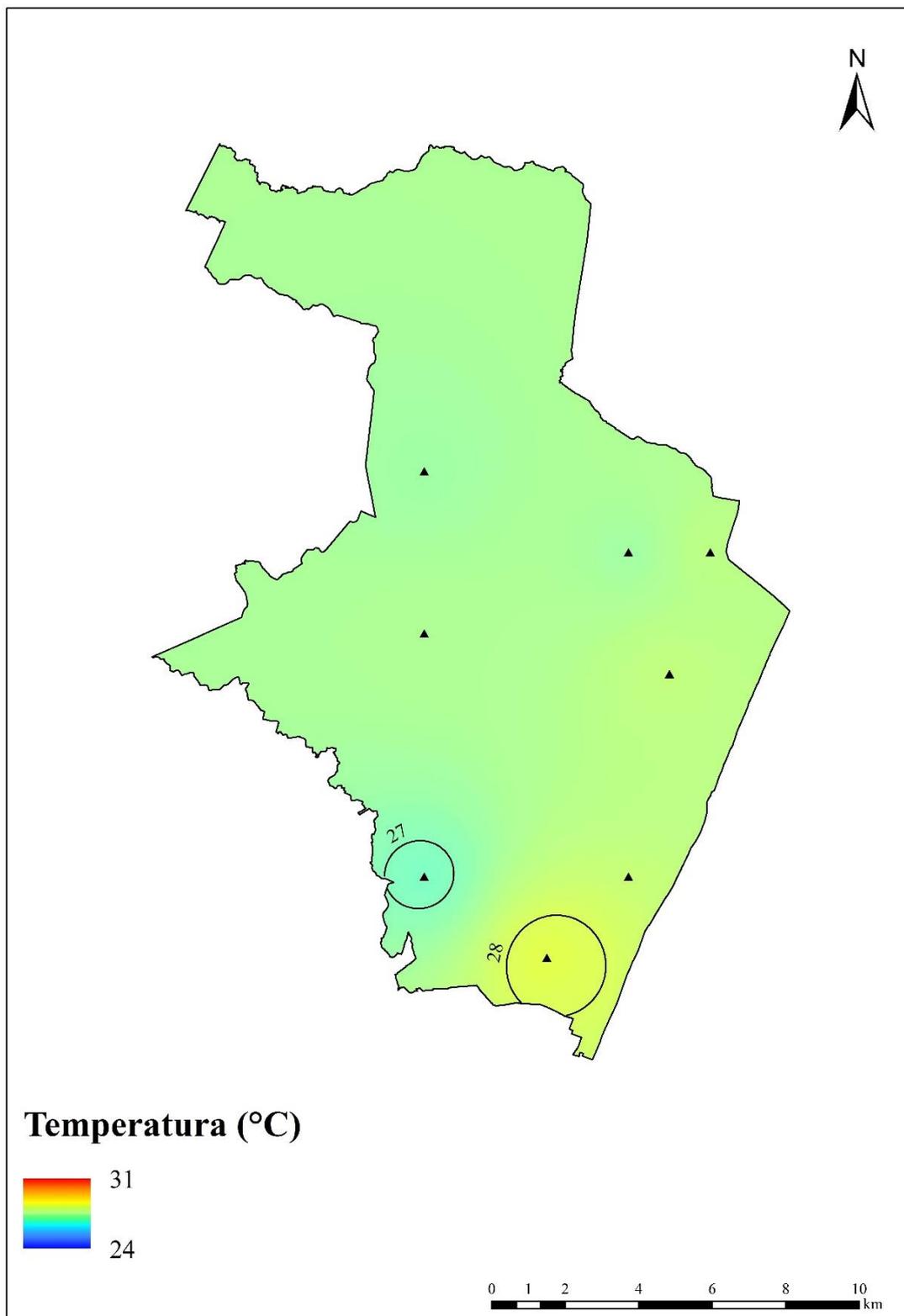
Gartland (2010) explica o balanço de energia com a seguinte fórmula: Convecção + Evaporação + Armazenamento de Calor = Calor Antropogênico + Saldo de Radiação.

**Figura 51** - Temperatura média registradas nas ECDs para o mês de novembro na cidade do Recife-PE.



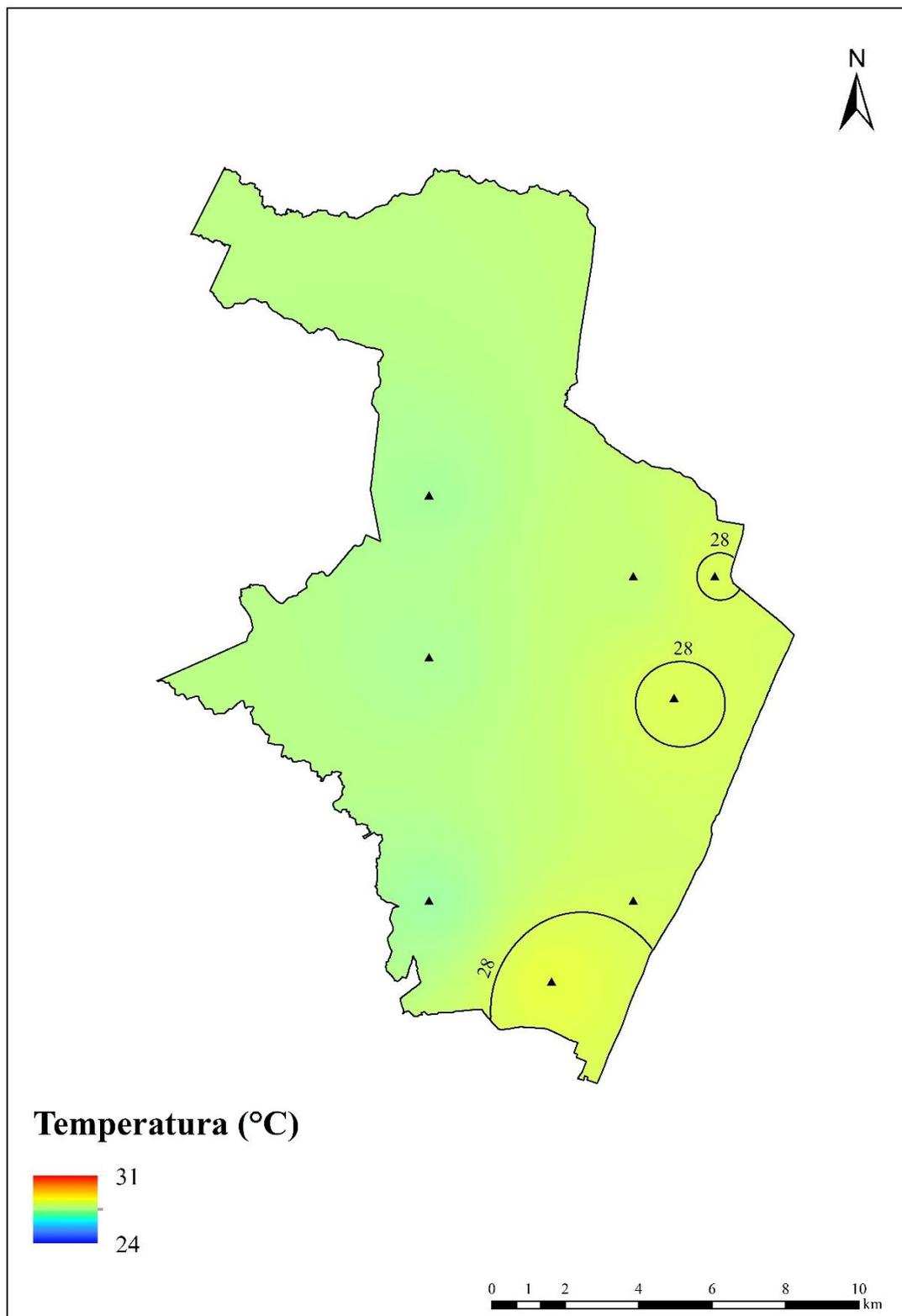
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 52** - Temperatura média registradas nas ECDs para o mês de dezembro na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 53** - Temperatura média registradas nas ECDs para o mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3.4.2 Umidade relativa do ar média

A umidade relativa do ar expressa uma relação de proporção relativa entre o vapor existente no ar e o seu ponto de saturação, mostrando em porcentagem o quanto de vapor existe no ar em relação a quantidade máxima possível de vapor que poderia haver, sob a temperatura que se encontra (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A temperatura do ar é um fator importante na quantidade de umidade no ar. O aumento da temperatura em um determinado ambiente, nele aumenta a proporção de vapor, já que a evaporação aumenta e o ponto de condensação se eleva como explicado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

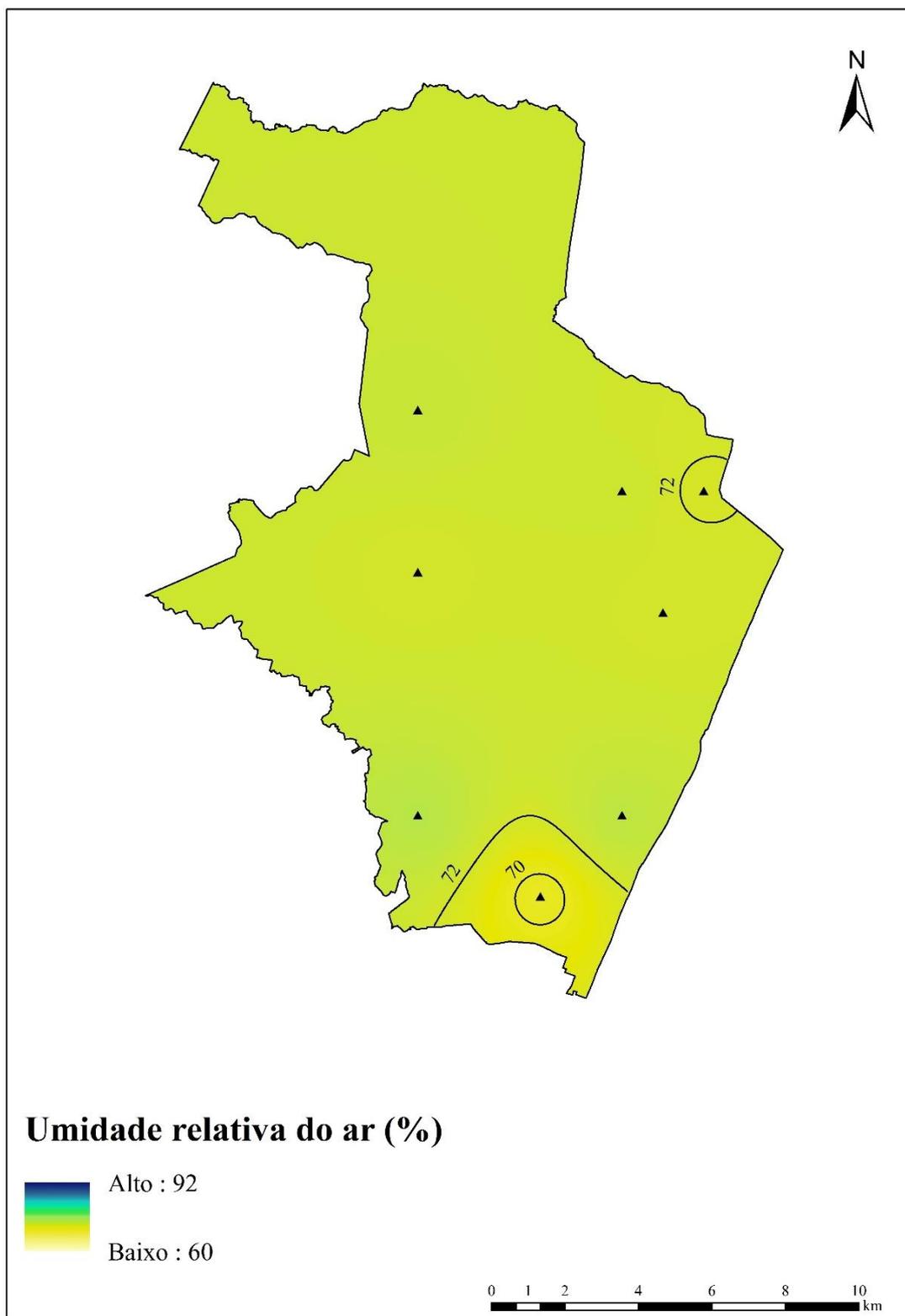
O percentual de umidade no ar dependerá de 3 fatores principais, a temperatura, a pressão e a presença de água. Quando há um aumento de temperatura em determinado ambiente há uma diminuição da pressão. Esse processo permite um maior acúmulo de umidade por conta da maior dispersão das moléculas de vapor de água no ambiente. Quando as temperaturas diminuem, a pressão aumenta e a capacidade de armazenar água diminui, aumentando assim o percentual de umidade no ar.

O mês de novembro (**Figura 54**), mês menos umido, apresentou uma diferença média de 4,2% entre a estação de maior umidade, Barro (73,9%), e a estação de menor umidade, IPSEP (69,7%).

No mês de dezembro (**Figura 55**) a diferença média entre os dados de umidade registrados nas ECDs é pequena. As mesmas estações marcaram as maiores e menores médias, Barro e IPSEP. A ECD do Barro marcou 78% e a estação da IPSEP com 74%, totalizando uma diferença de 4%.

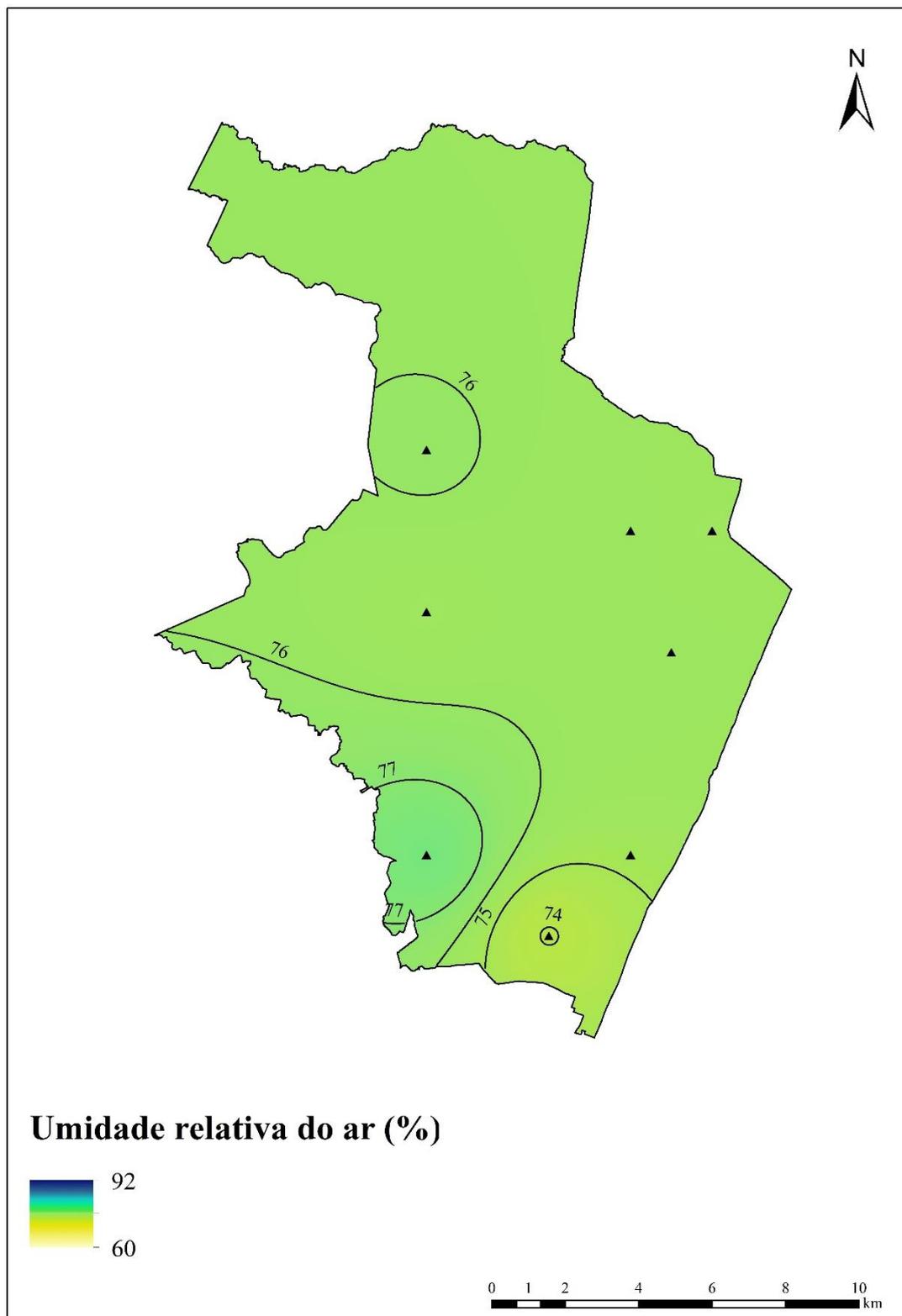
O mês de janeiro (**Figura 56**), o mais úmido, apresenta ainda menor variação, de 3,6%, com o menor valor na ECD da Boa Vista (78,6%) e o maior valor na ECD do Barro (82,2). As ECDs localizadas ao oeste da cidade, em áreas com menor densidade de urbanização apresentaram taxas de umidade no ar maiores que as taxas encontradas em ambientes densos. Os resultados para umidade relativa do ar respeitam os resultados médios obtidos para a temperatura já apresentados, inclusive, também mostram o aumento progressivo dos dois elementos climáticos ao longo dos três meses.

**Figura 54** - Umidade relativa do ar média registradas nas ECDs para o mês de novembro na cidade do Recife-PE.



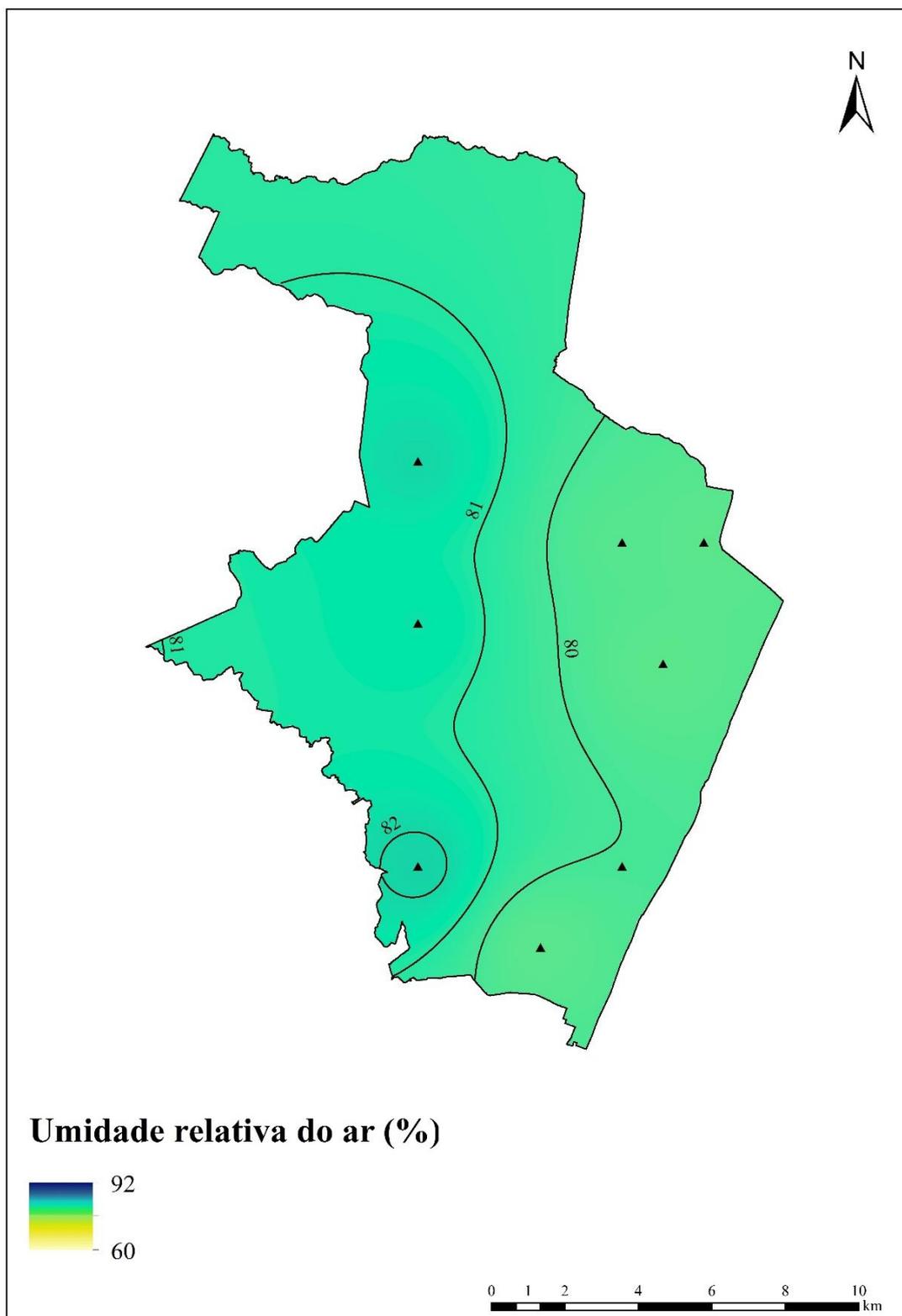
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 55** - Umidade relativa do ar média registradas nas ECDs para o mês de dezembro na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 56** - Umidade relativa do ar média registradas nas ECDs para o mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3.4.3 Temperatura e umidade relativa do ar nos períodos

- **Madrugada**

Os ambientes com excesso de materiais que armazenam calor, como o zinco, alumínio, amianto e betume, que possuem propriedades absorvedoras capazes de converter energia em calor com eficiência (MOREIRA et al., 2017), sofrem incrementos no balanço de radiação quando esses materiais convertem o calor latente, provenientes da radiação solar, em calor sensível.

Esse mecanismo produz um incremento de calor e influencia a umidade relativa do ar nas zonas densamente urbanizadas do Recife, como identificaram Nóbrega e Vital (2010). O calor armazenado durante o dia é liberado para o ar através de convecção, transferência de energia de uma superfície sólida para uma fluída (GARTLAND, 2010), fazendo com que as temperaturas se mantenham altas mesmo após o cessar da radiação solar.

Durante a madrugada do mês de novembro, a diferença entre a estação de menor temperatura e a estação de maior temperatura é de 2,5°C. O menor valor médio foi encontrado na ECD da UFPE (24 °C de média). O maior valor médio foi encontrado no IPSEP (26,5 °C). A temperatura média na madrugada do mês de novembro foi de 25,6°C.

O comportamento da umidade relativa do ar segue variação de acordo com os períodos do dia. Os corpos d'água, as brisas marítimas e a temperaturas dos ambientes urbanos condicionam a porcentagem de água presente no ar e a espacializam de acordo com suas características.

O período da madrugada apresenta o maior diferencial de umidade entre as ECDs. No mês de novembro a média de umidade relativa registrada foi de 79,6 %. A amplitude de umidade encontrada chegou a uma diferença de 10,1 % entre a estação mais úmida (86,1 % na UFPE) e a menos úmida (76% no IPSEP).

O mês de dezembro registrou o maior valor médio na temperatura da madrugada de 26°C. A maior média de temperatura foi anotada na ECD do IPSEP, com 26,7 °C. A menor média foi de 24,9 °C, registrada na ECD da UFRPE. A diferença entre o maior e menor valor foi de 1,7°C.

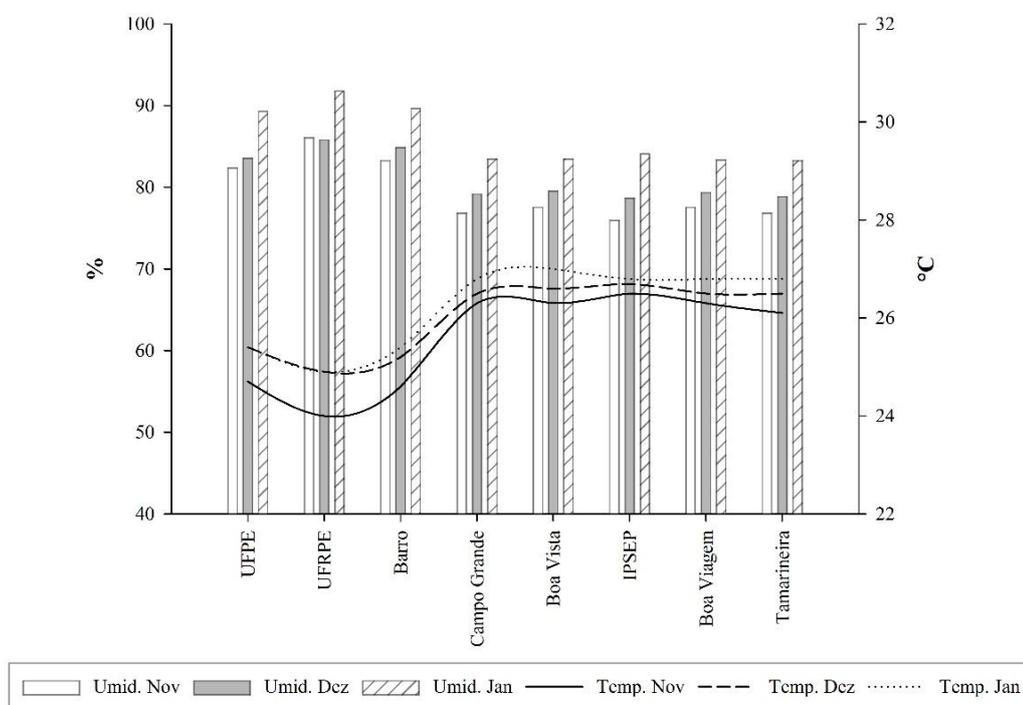
Durante a madrugada do mês de dezembro a umidade atingiu uma média de 81,3 %. A ECD mais úmida foi a UFPE (85,8 %), enquanto a menos úmida foi a IPSEP (78,7 %). A amplitude registrada entre as estações de 7 % nesse período.

Janeiro registrou 26,2 °C de média entre as estações. O maior valor foi registrado na estação da Boa Vista, 27 °C, enquanto o menor na ECD da UFRPE, com 24,9 °C. A diferença entre a maior e menor média foi de 2,1 °C no mês de janeiro.

Uma média de umidade de 86,1 % foi registrada na madrugada de janeiro. A diferença entre a estação de maior e menor umidade registradas atingiu o percentual de 8,5 %. A estação menos úmida foi a Tamarineira (83,3 %) e a maior foi mais uma vez a UFPE (91,8 %).

Os valores de umidade relativa do ar e temperatura para a madrugada, nos três meses de coleta estão apresentados na **figura 57**.

**Figura 57** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs durante o período da madrugada na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

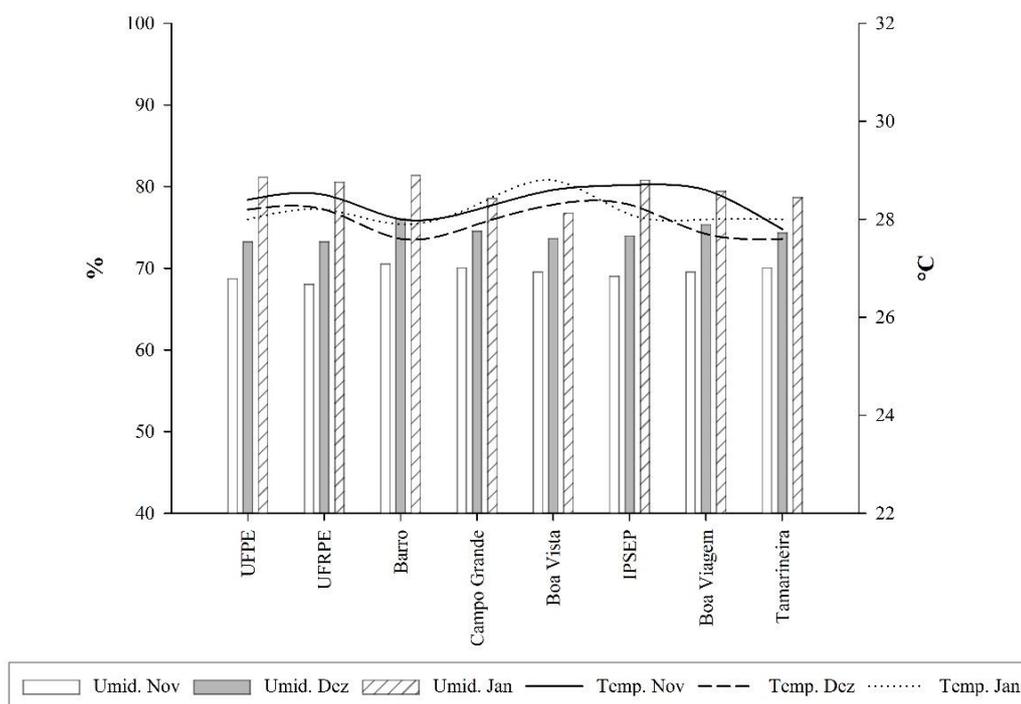
- **Manhã**

Os valores de umidade relativa do ar e temperatura para o período da manhã podem ser lidos na **figura 58**.

Durante o período da manhã a temperatura média no mês de novembro é de 28,3 °C. O maior valor apresentado corresponde a ECD do IPSEP (28,7 °C), com uma amplitude térmica de 0,9 °C em relação a ECD de menor média, Tamarineira (27,8 °C).

O período da manhã apresenta uma menor amplitude de umidade em relação a madrugada. No mês de novembro essa amplitude foi de 2,5 %. A média para o mês nesse período foi de 69,5 %. A estação que registrou o maior percentual foi a do Barro (70,6%). A de menor umidade no período foi a ECD da UFPE (68,1 %).

**Figura 58** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs durante o período da manhã na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

O mês de dezembro apresentou temperatura média pela manhã de 28 °C. A maior média foi registrada nas ECDs do IPSEP e na Boa Vista, com 28,3 °C ambas. A menor temperatura média, de 27,6 °C, foi registrada em duas ECDs, Barro e Tamarineira. A amplitude térmica entre os maiores valores e os menores foi de 0,7°C.

A manhã do mês de dezembro apresentou umidade média de 74,4 %. A maior umidade média foi registrada na ECD do Barro (76,1 %), enquanto as menores nas ECD da UFPE e UFRPE (73,3 %). A amplitude entre os maiores e menores percentuais foi de 2,8 %.

Em janeiro a temperatura média da manhã na cidade do Recife foi de 28,2 °C. A temperatura média mais amena foi encontrada na ECD do Barro (27,9 °C), com 0,9 °C a menos que o maior valor registrado na Boa Vista (28,8 °C).

O mês de janeiro apresentou percentual de umidade de 79,7 % durante a manhã. A amplitude dos maiores e menores percentuais foi de 4,6 %. O maior percentual médio foi observado na ECD do Barro (81,4 %). O menor percentual foi registrado na ECD da Boa Vista (76,8 %).

- **Tarde**

O período da tarde apresenta os maiores valores médios de temperatura. Durante o mês de novembro a média registrada foi de 29,2 °C. O maior valor foi observado na ECD do IPSEP. A amplitude térmica entre o maior e o menor valor médio foi de 2,8 °C. O menor valor foi registrado na ECD da Tamarineira (27,9 °C).

Durante a tarde foi registrado um percentual médio umidade relativa do ar de 64,9 % durante o mês de novembro. O maior percentual foi encontrado na ECD da Tamarineira (68,8 %), enquanto o menor valor percentual foi registrado na UFRPE (60,9%). A amplitude entre a maior e a menor umidade relativa foi de 7,9 % no mês de novembro.

O mês de dezembro apresenta média de 28,9 °C na temperatura das ECDs. A IPSEP apresentou a maior média de temperatura, com 30,1 °C. A menor média foi registrada na ECD da Tamarineira (27,9 °C). A diferença de temperatura entre a maior e a menor média foi de 2,3 °C.

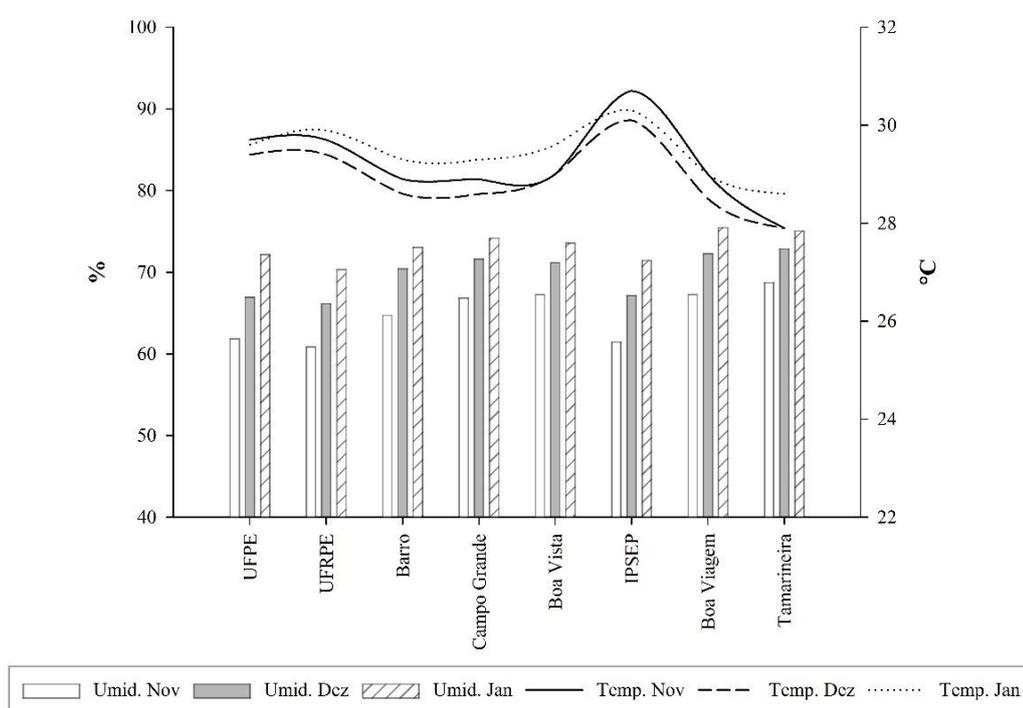
Em dezembro a umidade relativa média durante a tarde foi de 69,9%, com uma amplitude de 2,8%, o maior valor registrado foi de 72,9 % na Tamarineira. O menor valor foi registrado na ECD da UFPE (66,2 %).

Em janeiro a média de temperatura foi de 29,4 °C. O menor valor médio registrado foi encontrado na ECD da Tamarineira (28,6 °C), estando com 1,8 °C a menos que a maior média encontrada (30,3 °C na IPSEP).

O mês de janeiro apresentou média de 73,2 % no período da tarde. O maior percentual foi registrado na ECD de Boa Viagem (75,5 %). O menor percentual foi registrado na UFPE (70,4 %), com amplitude de 5,1 %.

Os valores de umidade relativa do ar e temperatura para o período da tarde estão plotados na **figura 59**.

**Figura 59** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs durante o período da tarde na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

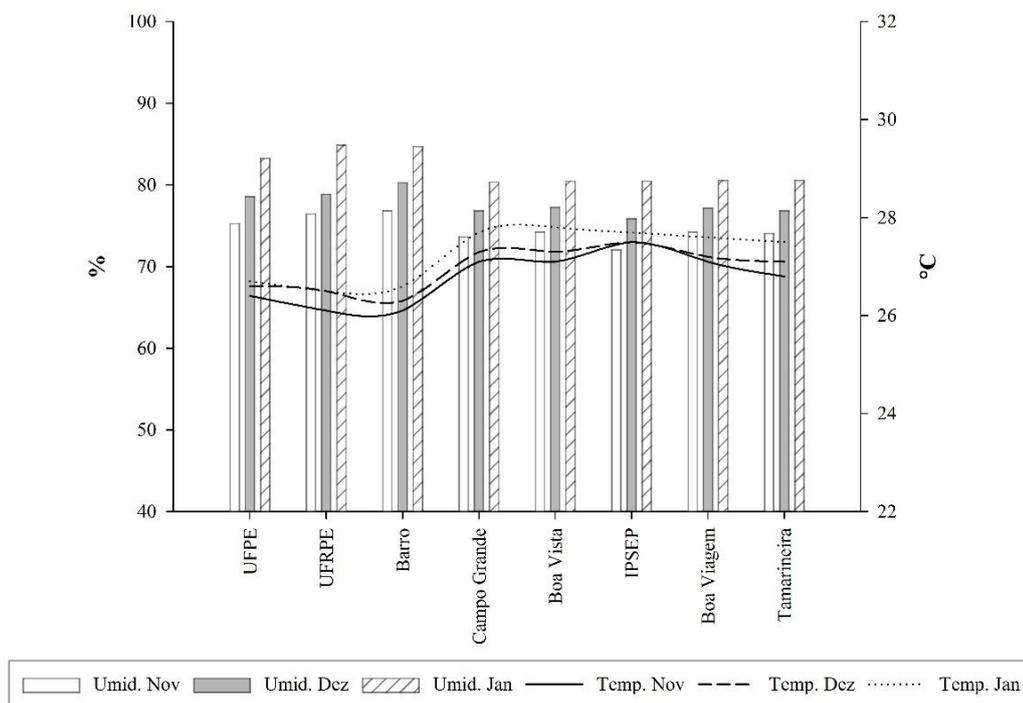
- **Noite**

Os valores de umidade relativa do ar e temperatura para o período da noite estão apresentados na **figura 60**.

Durante o período noturno a temperatura média no mês de novembro foi de 26,8 °C. A menor temperatura registrada foi observada nas ECDs da UFRPE e UFPE (26,1 °C). A maior temperatura média observada no mês de novembro durante a noite foi de 27,5 °C, na ECD do IPSEP. A diferença térmica entre o maior registro médio e o menor foi de 1,4 °C.

Durante o período da noite a umidade relativa do ar média para novembro foi de 74,7 %. O maior percentual médio foi encontrado na ECD do Barro (76,9 %). O menor percentual foi de 72,1 %, na ECD do IPSEP. A amplitude entre as duas ECDs foi de 4,9 %.

**Figura 60** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs durante o período da noite na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

No mês de dezembro a temperatura média durante a noite foi de 27 °C, com o maior valor observado no IPSEP (27,5 °C). A amplitude térmica foi de 1,2 °C, ao compararmos a maior temperatura média com a menor (26,3 °C na ECD do Barro).

No mês de dezembro a média noturna de umidade relativa foi de 77,8 %, com uma amplitude de 4,4 %, a maior umidade foi registrada na ECD do Barro (80,3 %). O menor valor percentual foi registrado na ECD da IPSEP (75,9 %).

Em janeiro, a temperatura média foi de 27,2 °C no período da noite. A maior média foi observada na ECD da Boa Vista (27,8 °C), com amplitude térmica de 1,3 °C em relação a menor média, de 26,5 °C na ECD da UFRPE.

Em janeiro, a média de umidade relativa foi de 81,9 %. O menor valor foi encontrado em Campo Grande (80,4 %). O maior valor foi registrado na UFRPE (84,9 %). A amplitude percentual foi de 4,5 %.

As temperaturas das áreas com morfologia urbana densa se mostraram superiores aos das áreas menos densas, esses resultados também foram encontrados por Nóbrega, Santos e Moreira (2016). Os autores também identificaram as altas temperaturas no IPSEP, que se destaca no presente trabalho como a estação de temperaturas mais destacadas em praticamente todos os períodos.

Durante o período da manhã e o período da tarde as temperaturas se elevam nas áreas com menor densidade chegando a ultrapassar algumas áreas mais densas. Todavia, as áreas de maior vegetação transformam o calor sensível em calor latente através da evapotranspiração, esse mecanismo permite a pouca absorção de calor durante o dia.

Algumas áreas, como a ECD da Tamarineira, apresentam menores temperaturas durante o dia do que as áreas menos densas; a posição das estações ao Nordeste, recebe os ventos de Leste e Sudeste através da calha do Capibaribe, o que acaba por ajudar no resfriamento da área. A presença de parques vegetados próximos da Tamarineira, também ajudam a reduzir as temperaturas durante esses horários. A estação de Boa Viagem segue padrão próximo do que é apresentado na Tamarineira.

A não presença de características como as que encontramos na Tamarineira nas circunvizinhanças das ECDs da Boa Vista e do IPSEP fazem com que as temperaturas permaneçam altas durante todo o dia, além de apresentar menor diminuição das temperaturas durante a noite.

As altas temperaturas nas áreas menos densas durante a tarde podem ser explicadas pela exposição. O movimento do sol, do Leste para o Oeste, traz um sombreamento durante o período da tarde nas estações ao Leste. Diferente das estações ao leste, que recebem sol durante toda a tarde, principalmente pela pouca presença de altos edifícios.

A mudança de direção dos ventos durante a noite para a direção Sudoeste é mais um fator que auxilia na diminuição mais rápida das temperaturas que se localizam no Oeste da cidade.

Os resultados para umidade relativa do ar estão diretamente proporcionais aos resultados de temperatura encontrados nas ECDs. O setor oeste da cidade se destaca com umidade mais alta do que as regiões no leste da cidade durante a noite e a madrugada.

#### **3.4.4 Temperatura e umidade relativa do ar nas médias horárias**

As médias horárias permitiram análises ainda mais pormenorizadas que os períodos, ficou evidente as diferenças e o comportamento da temperatura e umidade ao longo dos dias.

- **00:00h (Figura 61)**

Às 00:00h observamos que existe uma diferença de 1,9 °C entre as estações de maior e menor temperatura no mês de novembro. O menor valor médio foi registrado na ECD da UFRPE, com 24,9 °C. O maior valor foi registrado na ECD do IPSEP, com 26,8 °C.

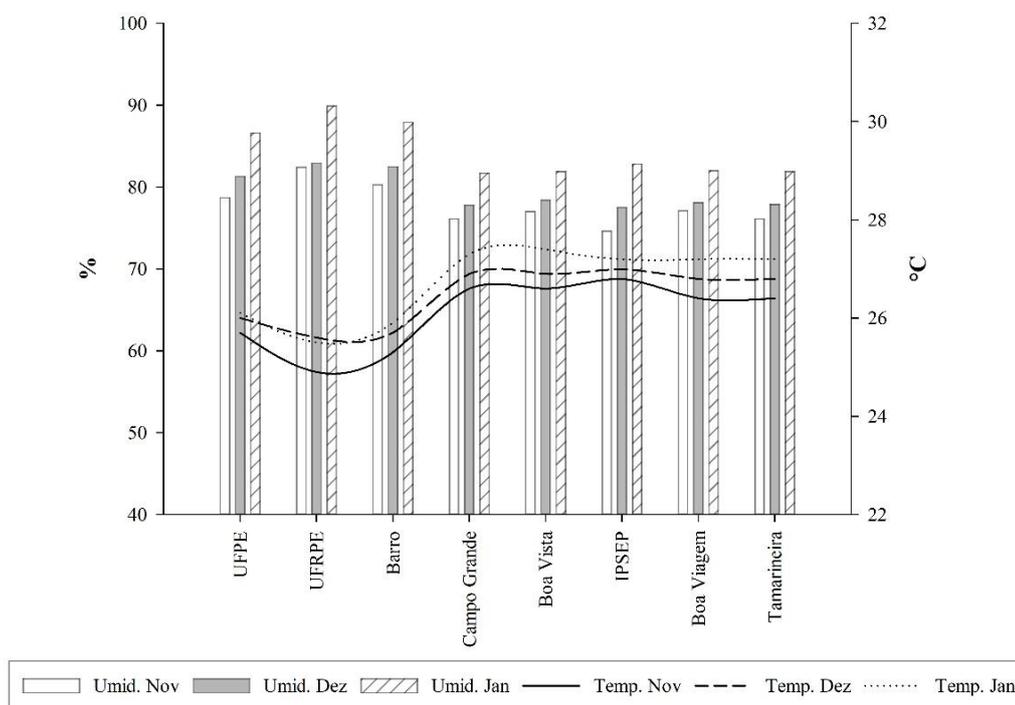
As estações da UFRPE e IPSEP se repetem com o maior e menor valor de umidade para o horário (82,4 % e 74,6 % respectivamente), com amplitude de 7,8 % em novembro.

No mês de dezembro há menor amplitude entre os valores máximos e mínimos às 00:00h. Temperatura máxima de 27,1 °C no IPSEP e temperatura mínima de 26 °C no Barro. Amplitude térmica de 1,1 °C entre as estações.

A umidade no mês de dezembro para o horário apresentou a ECD do Barro com 79 %, maior valor registrado; e 76 % no IPSEP, menor valor. A amplitude de umidade foi de apenas 2 %.

Em janeiro há mudanças em relação aos valores máximos de umidade e temperatura. Com amplitude de 2 °C, o maior valor de temperatura foi encontrado na ECD da Boa Vista (27,4 °C). A menor temperatura foi registrada mais uma vez na ECD da UFRPE (25,5 °C).

A umidade relativa do ar máxima muda em relação a temperatura no mês de janeiro, Campo Grande (81,7 %) apresentou o menor valor médio às 00:00h. A UFRPE obteve a maior umidade (89,9 %), 8,2 % maior que a ECD de Campo Grande.

**Figura 61** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 00:00hr na cidade do Recife-PE.

Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **03:00 (Figura 62)**

As temperaturas e umidades registradas às 03:00h apresentaram maior amplitude que os dados de 00:00h. No mês de novembro a menor temperatura, de 23,7 °C, foi registrada na ECD da UFRPE. O maior valor, de 26,4 °C, foi computado no IPSEP. 2,7 °C de amplitude foi registrado para as temperaturas desse horário.

Na umidade das 03:00 se destacam mais uma vez UFRPE (87,1 %) e o IPSEP (76,2 %) em novembro. A amplitude de umidade encontrada foi de 10,9 %.

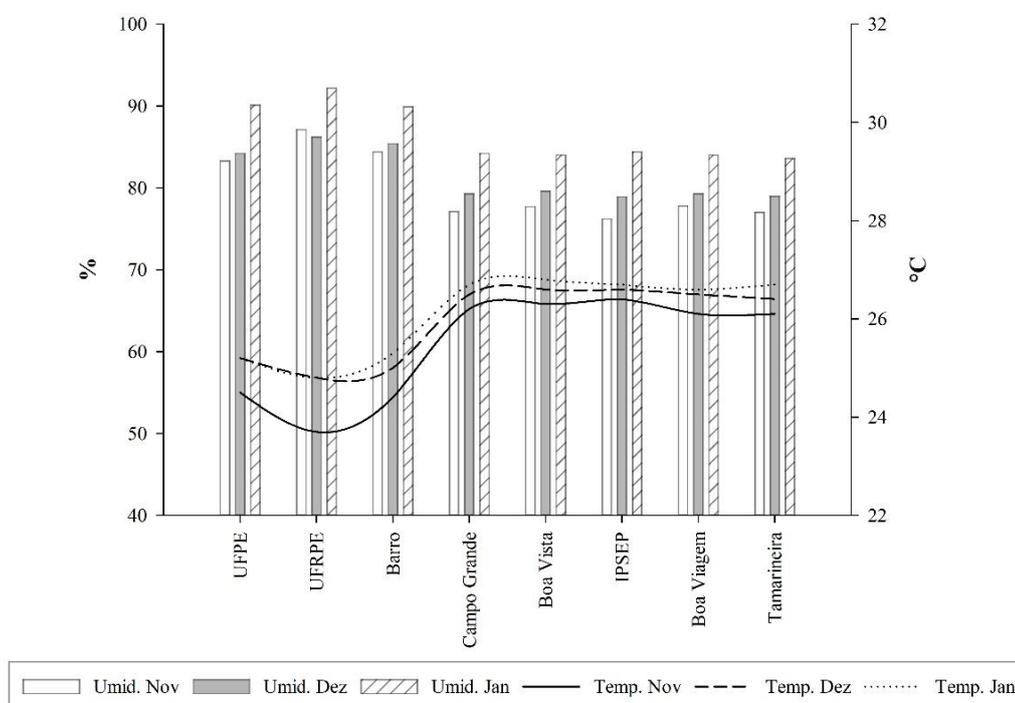
No mês de dezembro a UFRPE apresentou a menor média às 03:00h, 24,8 °C. Duas ECDs apresentaram as maiores médias, IPSEP e Boa Vista, com 26,6 °C. A amplitude foi de 1,8 °C nesse horário.

O valor de 86,2 % foi registrado na ECD da UFRPE, sendo a maior registrada em dezembro. A menor umidade foi de 78,9 %, proveniente do IPSEP. Amplitude de 7,3 % foi calculada para a umidade no horário das 03:00h.

Em janeiro, a ECD que apresentou menor média de temperatura às 03:00h foi a UFRPE (24,8 °C). A UFRPE apresentou 2,1 °C a menos que a ECD da Boa Vista, de maior temperatura registrada (26,9 °C).

A umidade relativa do ar de maior média no horário foi encontrada na ECD da UFRPE em janeiro, com 95,3 % de média. A Boa Vista, com 84,4 % foi a menor umidade. A amplitude foi de 8,7 % para o horário.

**Figura 62** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 03:00hr na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **06:00h (Figura 63)**

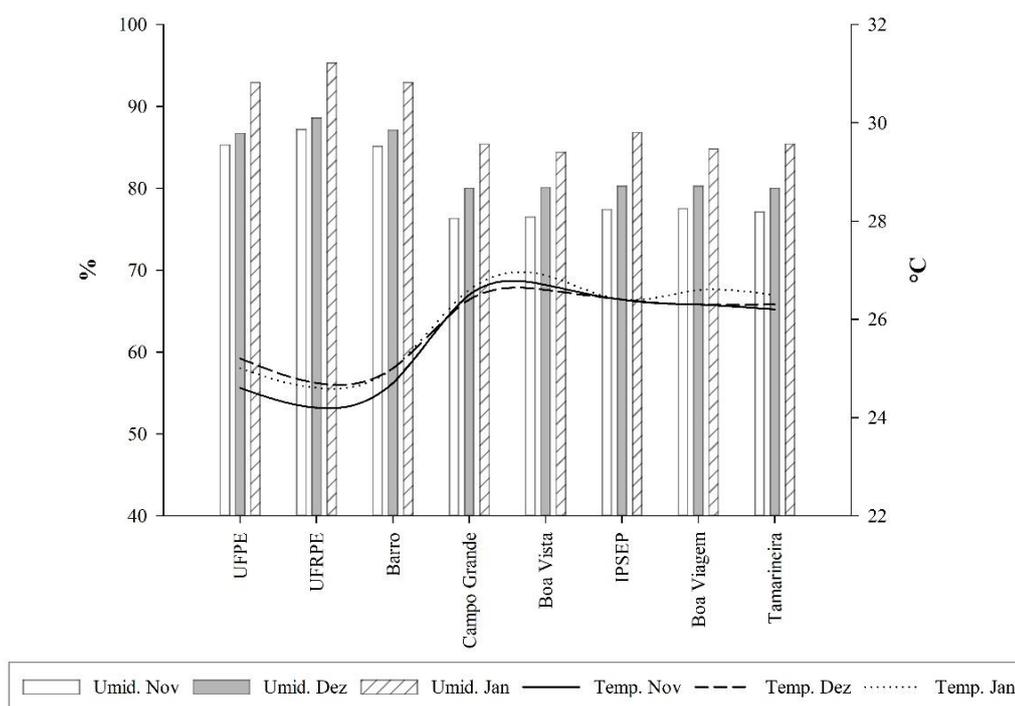
Durante as 06:00h, no mês de novembro, a amplitude entre a maior e menor temperatura foi de 2,5 °C. A maior média para o horário foi encontrada na Boa Vista (26,7 °C) e a menor na UFRPE (24,2). A ECD que apresentou menor umidade no horário, para novembro, foi Campo Grande (76,3 %), com 10,9 % a menos que a UFRPE (87,2 %).

No mês de dezembro a ECD com maior média para o horário foi a Boa Vista, com 26,6 °C. A UFRPE registrou a menor média, de 24,7 °C. A diferença entre o maior e menor valor de temperatura foi de 1,8 °C.

A diferença de umidade entre as estações de maior e menor porcentagem foi de 8,6 % em dezembro. A maior porcentagem foi registrada em duas ECDs, Campo Grande e Tamarineira, com 80 %, O maior percentual foi de 88,6 %, registrado na UFRPE. o horário das 06:00h apresentou a maior amplitude de percentual de umidade no ar durante o dia.

Em janeiro a amplitude térmica entre as estações foi de 2,3 °C. O menor valor foi calculado na UFRPE, média de 24,6 °C. Na Boa Vista encontramos a maior média, de 26,9 °C. O horário de 06:00h apresentou as maiores amplitudes de temperatura e umidade no mês de janeiro. A umidade relativa do ar apresentou as mesmas estações em destaque para janeiro. O menor valor foi encontrado na Boa Vista (84,4 %). O maior, de 95,3 %, proveio da ECD da UFRPE. A amplitude percentual foi de 10,9 %.

**Figura 63** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 06:00hr na cidade do Recife-PE.



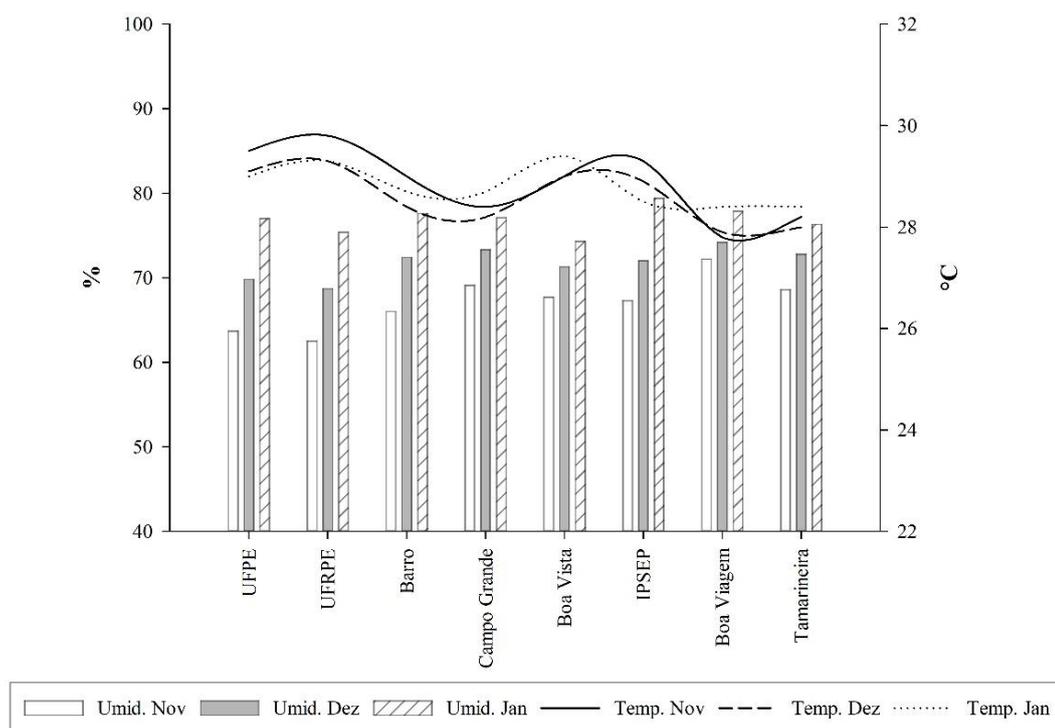
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **09:00h (Figura 64)**

Durante às 09:00h uma amplitude de 2 °C foi registrada entre as temperaturas das ECDs. A estação da UFRPE apresenta a maior média para esse horário (29,8 °C), valor que demonstra a grande amplitude térmica diária obtida nessa ECD. O menor registro foi na ECD de Boa Viagem, com média de 27,8 °C no horário.

Os destaques nos valores para a umidade relativa do ar repetem as médias de temperatura no horário para o mês de novembro. A maior média de umidade foi apresentada na ECD de Boa Viagem, percentual de 72,2 %. A ECD menos úmida foi a UFRPE, com 62,5 %. A amplitude úmida foi de 9,7 %.

**Figura 64** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 09:00hr na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Em dezembro o padrão se mantém. A média de maior valor de temperatura foi calculada para a ECD da UFRPE (29,3 °C). Boa Viagem apresenta o menor valor, de 27,9 °C. A amplitude para dezembro foi de 1,3 °C.

A amplitude de umidade foi de 5,5 % em dezembro, repetindo-se as ECDs. Boa viagem marcou média de 74,2 % para o horário, maior valor. Enquanto a UFRPE marcou 68,7 %, menor umidade média registrada no horário.

No mês de janeiro a amplitude entre os dados diminui ainda mais para às 09:00h. A maior e menor média se repetem com as estações da UFRPE e Boa Viagem, contudo, A ECD da Tamarineira acompanha Boa Viagem em valor. 29,4 °C foi a maior média. 28,4 °C apresentaram Boa Viagem e Tamarineira.

Em janeiro há mudanças nas médias de umidade. Com amplitude 5,1 %, a ECD do IPSEP apresentou a maior média de umidade (79,4 %). O menor percentual médio foi calculado para a estação de coleta de dados da Boa Vista (74,3 %).

- **12:00h (Figura 65)**

Ao meio-dia a maior temperatura média foi calculada em duas ECDs para o mês de novembro. IPSEP e UFRPE apresentaram 31,3 °C os maiores valores. Com amplitude de 2,8 °C em relação a menor média, registrada na Tamarineira (28,5 °C).

A umidade média de maior percentual foi encontrada em Boa Viagem (67 %) no mês de novembro. O maior valor foi registrado com percentual 11 % maior que o encontrado na ECD da UFRPE, o menor valor médio, de 56 %.

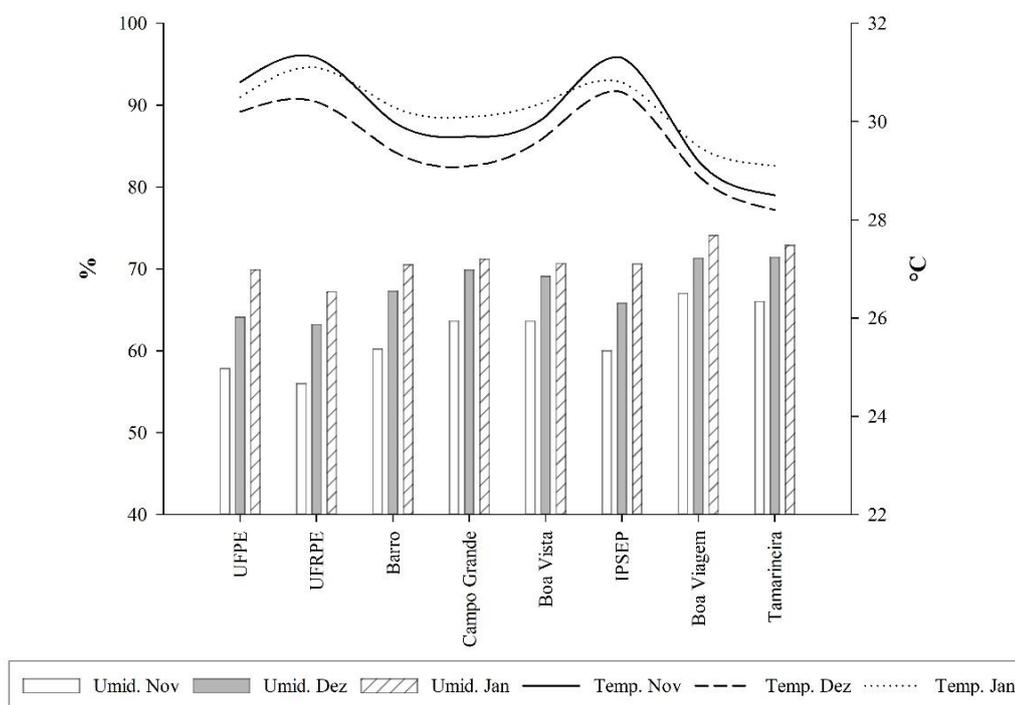
Em dezembro a maior temperatura média foi encontrada no IPSEP (30,6 °C). A ECD da Tamarineira se repete com a menor média (28,2 °C). A amplitude térmica foi de 2,4 °C no horário.

A diferença de percentual de umidade no ar foi de 8,2 % no mês de dezembro. O maior percentual foi calculado na ECD da Tamarineira, com 71,4 %. A ECD menos úmida foi a UFRPE (63,2 %).

Em janeiro, a UFRPE apresentou a maior média térmica, de 31,1 °C. A diferença em relação a estação de menor valor (Tamarineira: 29,1°C) foi de 2 °C.

A umidade apresenta padrão diferente em janeiro. Com diferença percentual de 6,9 °C, Boa Viagem apresentou o maior valor (74,1 %). O menor percentual foi de 67,2 %, apresentado na UFRPE.

**Figura 65** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 12:00hr na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **15:00h (Figura 66)**

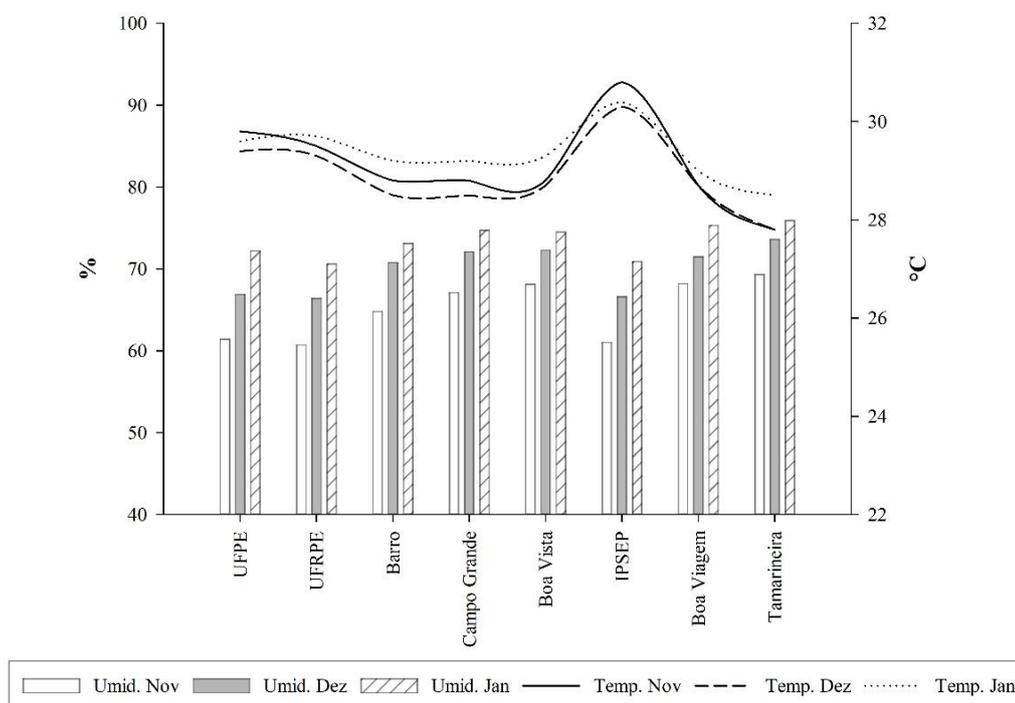
No mês de novembro a amplitude térmica foi de 3,1 °C às 15:00h. A maior amplitude marcada nos horários meteorológicos padrão para o mês. O maior valor foi apresentado pela ECD do IPSEP, de 30,8 °C. A Tamarineira apresentou a temperatura mais amena do horário (27,8 °C).

A umidade para o mês de novembro foi marcada pela Tamarineira como ECD mais úmida, apresentando 69,3 % de percentual úmido. A Tamarineira se mostrou 8,6 % mais úmida que a ECD de menor umidade, a UFRPE (60,7 %).

Em dezembro a temperatura mantém o mesmo padrão do mês de novembro, com a maior amplitude registrada entre os horários (2,5 °). A ECD da Tamarineira apresentou o menor valor (27,8 °C), enquanto IPSEP o maior (30,3 °C).

A ECD de menor umidade para o mês de dezembro foi a UFRPE, com 66,4 %. O valor registrado na UFRPE foi 7,2 % menor que o da estação da Tamarineira (73,6 %), de menor percentual entre as ECDs.

**Figura 66** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 15:00hr na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Em janeiro a maior temperatura foi registrada na ECD do IPSEP (30,4 °C) para as 15:00h. A menor média foi computada na ECD da Tamarineira, com 28,5 °C. A diferença entre as duas estações destacadas anteriormente foi de 2 °C.

Os resultados de umidade para o mês de janeiro às 15:00h seguem destacando as ECDs da Tamarineira e UFRPE. A ECD da Tamarineira computou o maior percentual, de 75,9 %, enquanto a UFRPE o menor, de 70 %. A amplitude úmida foi de 5,3 %.

- **18:00h (Figura 67)**

Para o horário das 18:00h, no mês de novembro, a amplitude térmica foi de 1,5 °C. A ECD do Barro apresentou as temperaturas mais amenas, com média de 26,6 °C. O destaque em calor ficou com a ECD do IPSEP (28,1 °C).

A umidade relativa do ar manteve as ECDs do Barro e IPSEP com os extremos de valores em novembro. A amplitude foi de 4,8 %. O menor percentual foi registrado em 69,7 % (IPSEP), enquanto o maior foi de 74,5 % (Barro).

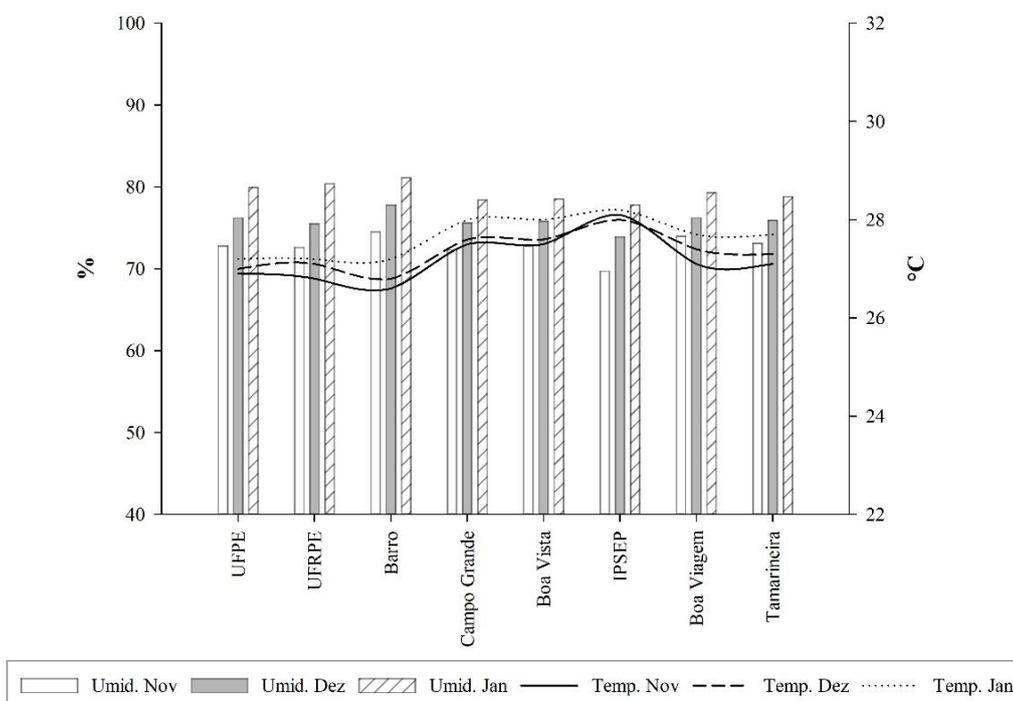
No mês de dezembro o maior valor de temperatura registrado no horário das 09:00h proveio da ECD do IPSEP (28 °C). Com um diferencial de 1,2 °C em relação ao IPSEP, a ECD do Barro registrou o menor valor médio de temperatura para o horário (26,8 °C).

A umidade relativa do ar variou em 3,8 % no mês de dezembro. O maior valor foi registrado na ECD do Barro, com percentual de 77,8 %. O menor valor teve como sítio a ECD do IPSEP, com 73,9 percentual.

O mês de janeiro registrou 3 estações com o valor de 27,2 °C para 18:00h. Barro, UFPE e UFRPE se destacaram com as menores médias de temperatura. A estação do IPSEP apresentou o maior valor de temperatura (28,2 °C), 1 °C maior que as menores.

Em janeiro foi obtida diferença de 3,3 % entre a maior e a menor média de umidade relativa do ar. A ECD mais úmida no horário foi a do Barro, com percentual de 81,1 % de umidade no ar. IPSEP registrou os menores percentuais de umidade no horário, com 77,8 %.

**Figura 67** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 18:00hr na cidade do Recife-PE.



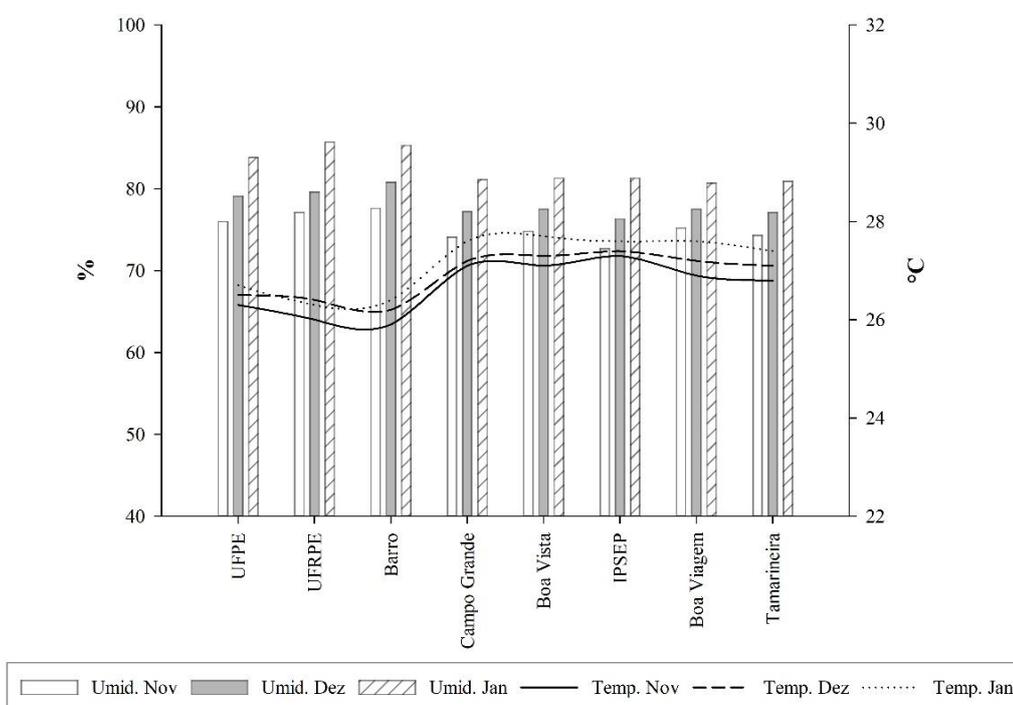
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **21:00h (Figura 68)**

O mês de novembro apresentou a maior temperatura às 21:00h na ECD do IPSEP (27,3 °C). A menor média para o horário foi calculada na ECD do Barro, com valor de 25,9 °C. A amplitude térmica foi de 1,4 °C.

O mês de novembro exibiu amplitude de 4,9 % na umidade para as 21:00h. O maior valor médio foi calculado na estação do Barro, com 77,6 %. A estação do IPSEP apresentou a menor umidade relativa do ar, 72,7 %.

**Figura 68** - Temperatura e umidade relativa do ar nas ECDs às 21:00hr na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Dezembro registrou a maior temperatura na ECD da Boa Vista (27,4 °C) às 21:00. A menor temperatura média procedeu da ECD do Barro, com 26,2 °C. A diferença térmica entre as estações foi de 1,2 °C.

A umidade relativa do ar para o mês de dezembro registrou uma diferença de 4,5 % entre as ECDs de maior e menor umidade. A ECD do Barro registrou o maior valor às 21:00h (80,8 %). O IPSEP registrou 76,3 %, menor média de umidade para o horário.

No mês de janeiro a ECD da Boa Vista continua apresentando a maior temperatura média para as 21:00h (27,7 °C). A estação da UFRPE apresentou a média de temperatura mais baixa, registrou 26,3 °C. A diferença entre as duas estações foi de 1,4 °C.

A maior média de umidade foi calculada na ECD da UFRPE, 85,7 %. Com uma diferença de 4,9 % em relação com a UFRPE, a ECD de Boa Viagem apresentou a menor umidade média para as 21:00h.

### 3.5 ÍNDICE DE TEMPERATURA E UMIDADE

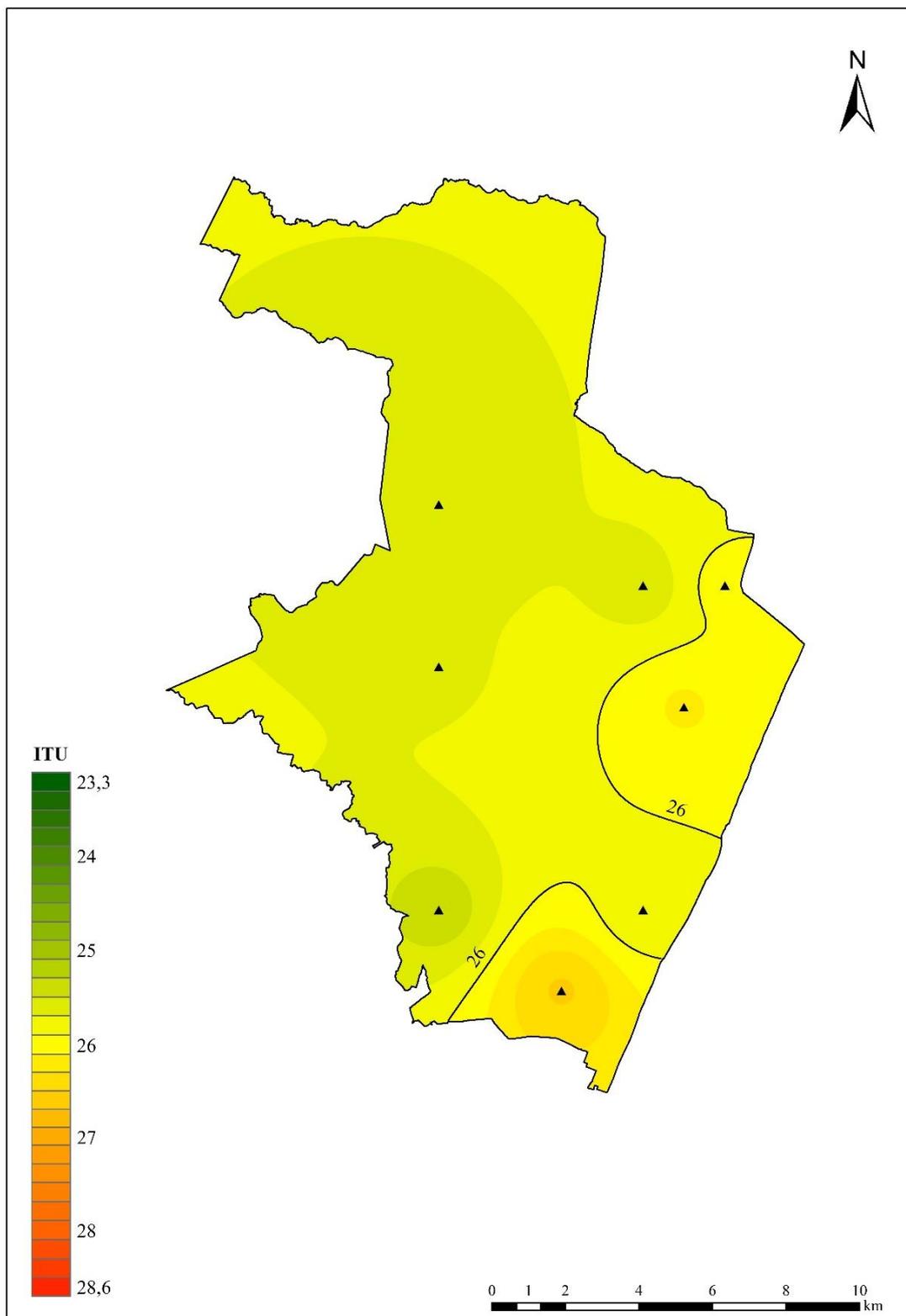
Do ponto de vista humano, o conforto térmico está associado à condição psicológica que expresse satisfação com o ambiente térmico que o circunda (VIANA, 2013). Por outro lado, quando nos referimos ao ponto de vista ambiental, cômodo é o ambiente cujas condições admitam a manutenção da temperatura corporal sem precisar serem ativados os mecanismos termorreguladores (NÓBREGA; LEMOS, 2011). Ou seja, é necessário que esteja em harmonia a relação entre o organismo humano e o meio-ambiente.

O mês de novembro (**Figura 69**) apresentou a menor média, considerada levemente desconfortável (25,9). A ECD de maior desconforto foi a do IPSEP, com índice extremamente desconfortável de 26,6. A estação com menor índice foi a do Barro (25,5), com índice levemente desconfortável.

No mês de dezembro (**Figura 70**) a média de ITU foi de 26,2, classificada como extremamente desconfortável. A estação mais desconfortável foi a do IPSEP (26,7), com a estação do Barro apresentando mais uma vez o menor valor (25,7), levemente desconfortável.

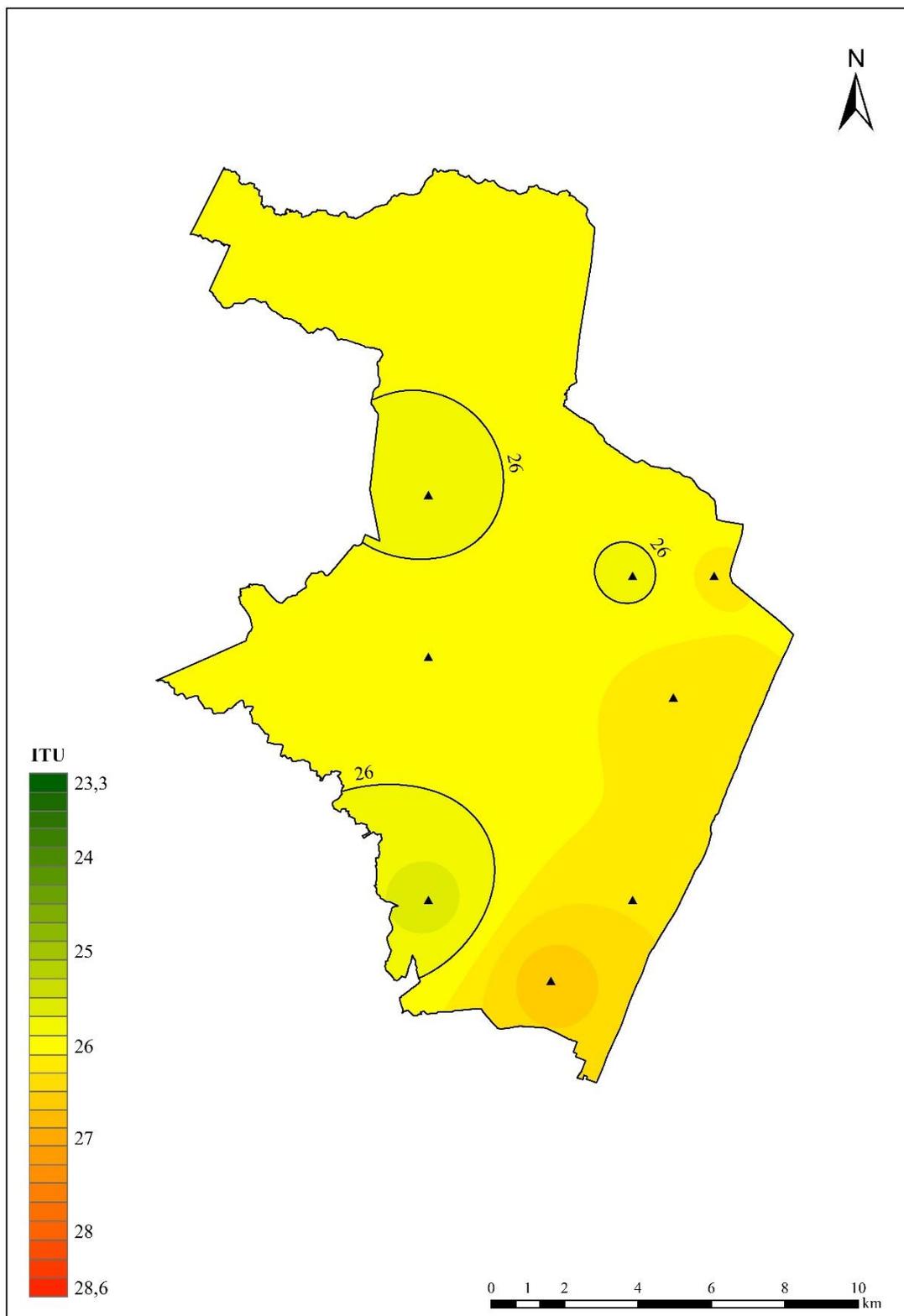
Em janeiro (**Figura 71**) um ITU médio extremamente desconfortável foi calculado em 26,7. Tanto os maiores valores quanto os menores se configuraram como extremamente desconfortáveis no mês de janeiro. Os maiores valores foram encontrados nas ECD do IPSEP e Boa Vista (27,1), com valores extremamente desconfortáveis. O menor valor de ITU se manteve na ECD do Barro, com o valor de 26,3, extremamente desconfortável.

**Figura 69** - Índice de temperatura e umidade médio registradas nas ECD para o mês de novembro na cidade do Recife-PE.



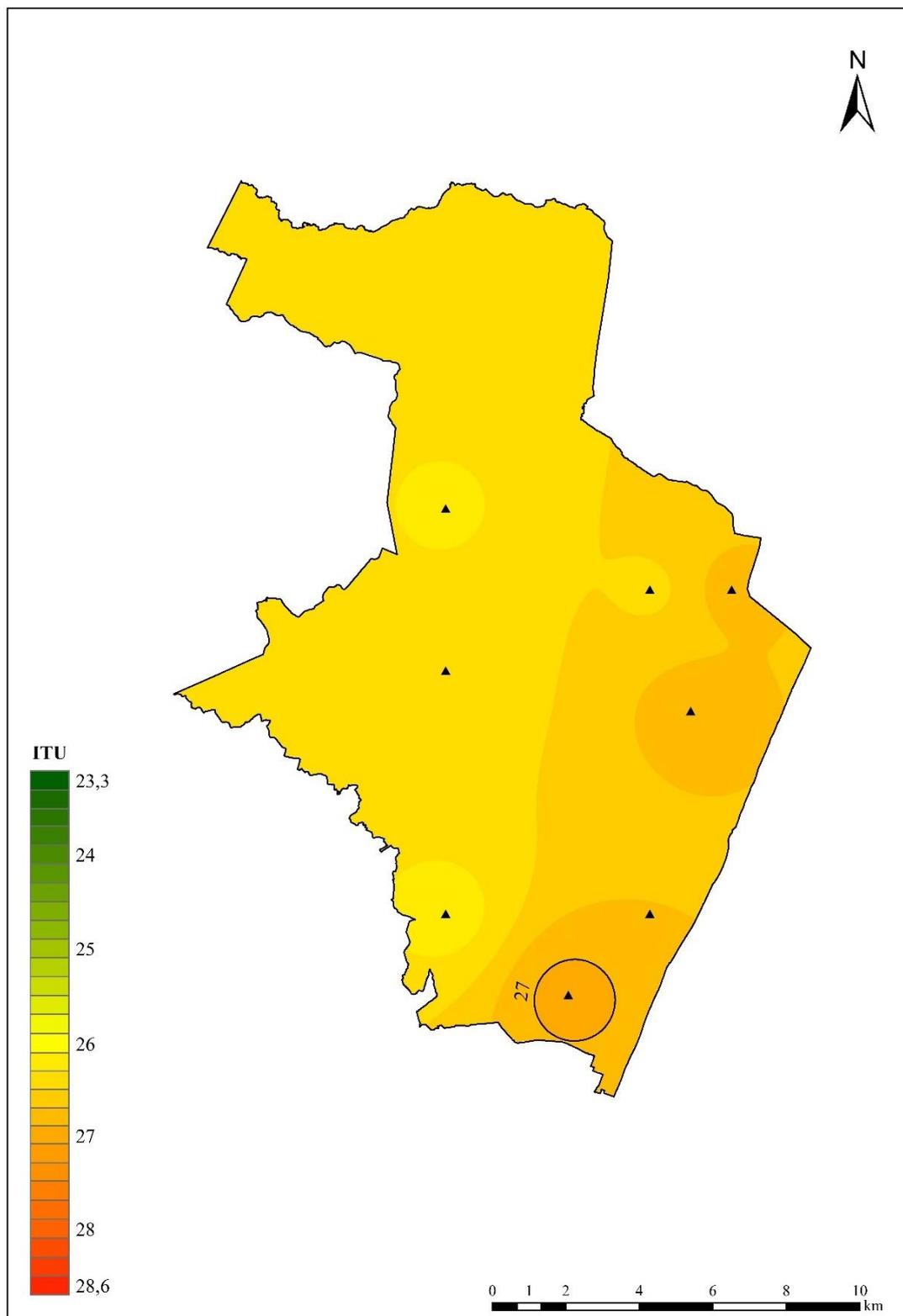
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 70** - Índice de temperatura e umidade médio registradas nas ECD para o mês de dezembro na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 71** - Índice de temperatura e umidade médio registradas nas ECD para o mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



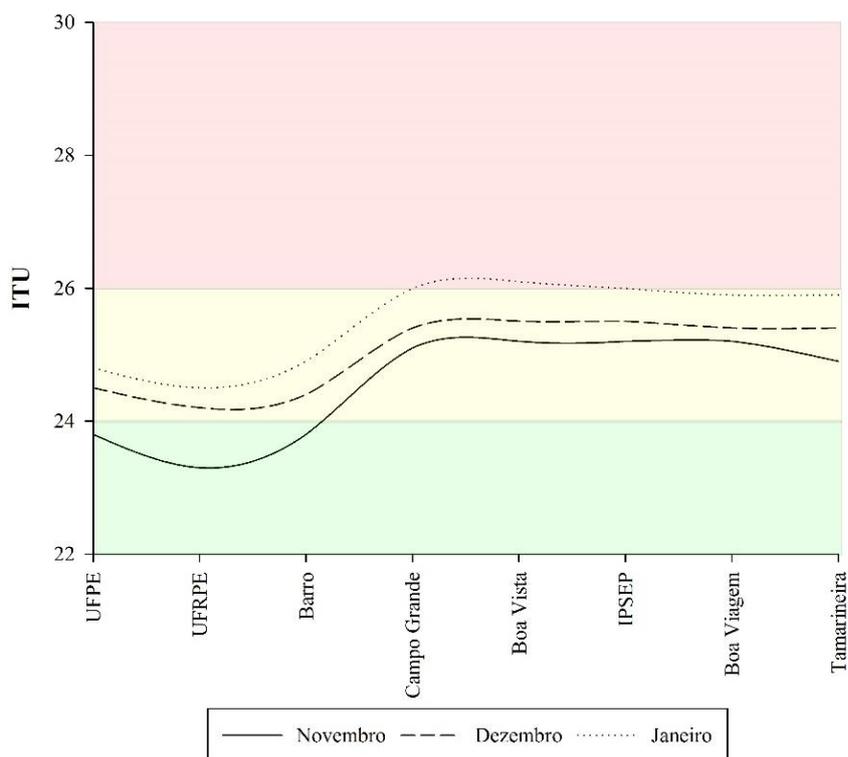
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Dos três meses estudados nenhum apresentou média de ITU confortável, um resultado esperado, já que foi observado pelo trabalho de Nóbrega e Lemos (2011) que há um certo nível de desconforto térmico na capital pernambucana associado a sua condição climática tropical e sua posição em relação ao equador, além de outros fatores ambientais.

### 3.5.1 Índice de temperatura e umidade nos períodos

- **Madrugada (Figura 72)**

**Figura 72** - Índice de temperatura e umidade nas ECD durante o período da madrugada na cidade do Recife-PE. As cores estão associadas ao ITU. O vermelho demarca o índice extremamente desconfortável; o amarelo, levemente desconfortável; e verde, confortável.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

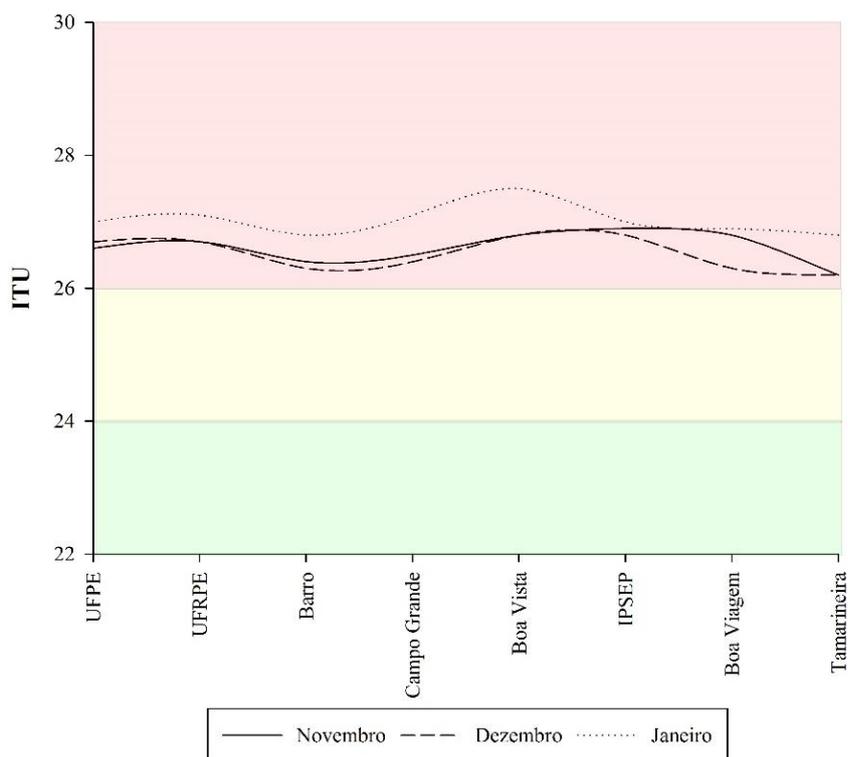
Durante a madrugada o ITU médio para novembro se configurou como levemente desconfortável (24,6). O menor valor foi encontrado na estação da UFRPE (23,3), considerado confortável. As estações da Boa Vista, IPSEP e Boa Viagem dividiram o maior ITU encontrado (25,2), sendo considerados levemente desconfortáveis no período.

Em dezembro o ITU médio da madrugada foi calculado em 25,1, levemente desconfortável. Os maiores valores foram registrados na Boa Vista e no IPSEP, com 25,5, sendo considerados levemente desconfortáveis. A UFRPE apresentou o menor ITU, considerada levemente desconfortável na madrugada de dezembro com 24,2.

Em janeiro a madrugada foi considerada levemente desconfortável na cidade do Recife (25,5). O menor valor de ITU foi calculado na estação da UFRPE (24,5), levemente desconfortável. A Boa vista se apresentou como a estação de maior índice nesse período, com ITU de 26,1, sendo considerado extremamente desconfortável.

- **Manhã (Figura 73)**

**Figura 73** - Índice de temperatura e umidade nas ECD durante o período da manhã na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Pela manhã as condições mudam em relação à madrugada, o mês de novembro apresenta ITU médio de 26,6 nesse período, considerado extremamente desconfortável. O ponto com menor valor foi calculado na estação da Tamarineira (26,2), ainda assim

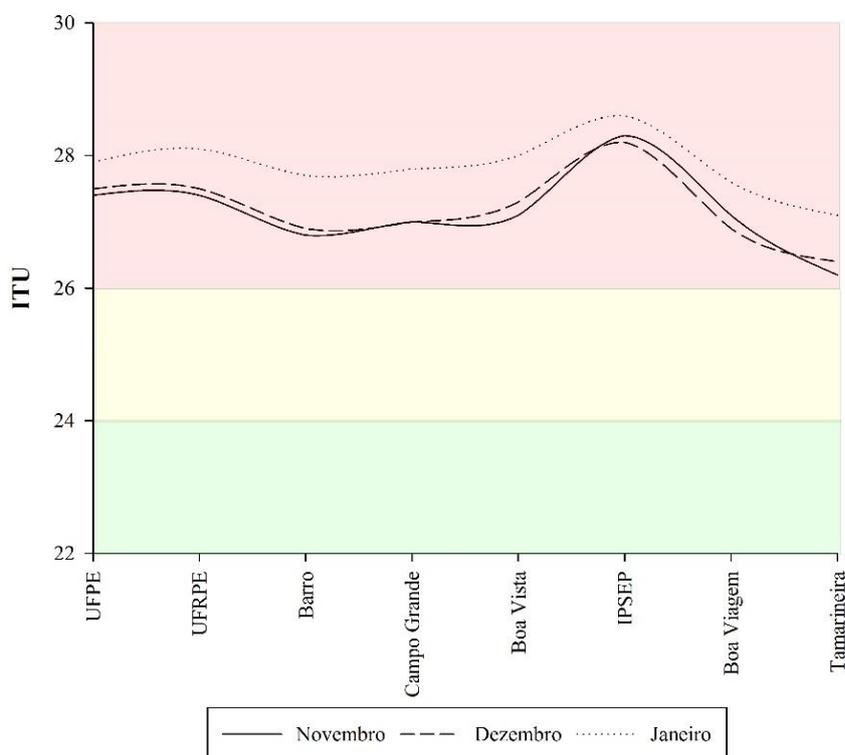
extremamente desconfortável. O ambiente mais desconfortável nesse período foi observado na estação do IPSEP (26,9).

No mês de dezembro a média do ITU durante o período da manhã foi de 26,5 (extremamente desconfortável). As estações com maiores valores foram encontradas no IPSEP e na Boa Vista (26,8). A estação menos desconfortável se manteve na Tamarineira nesse período (26,2).

Em janeiro, o ITU médio da manhã foi calculado em 27. O índice extremamente desconfortável também foi encontrado nas estações de menor, Barro e Tamarineira (26,8), e de maior, Boa Vista (27,5), valores de ITU.

- **Tarde (Figura 74)**

**Figura 74** - Índice de temperatura e umidade nas ECD durante o período da tarde na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

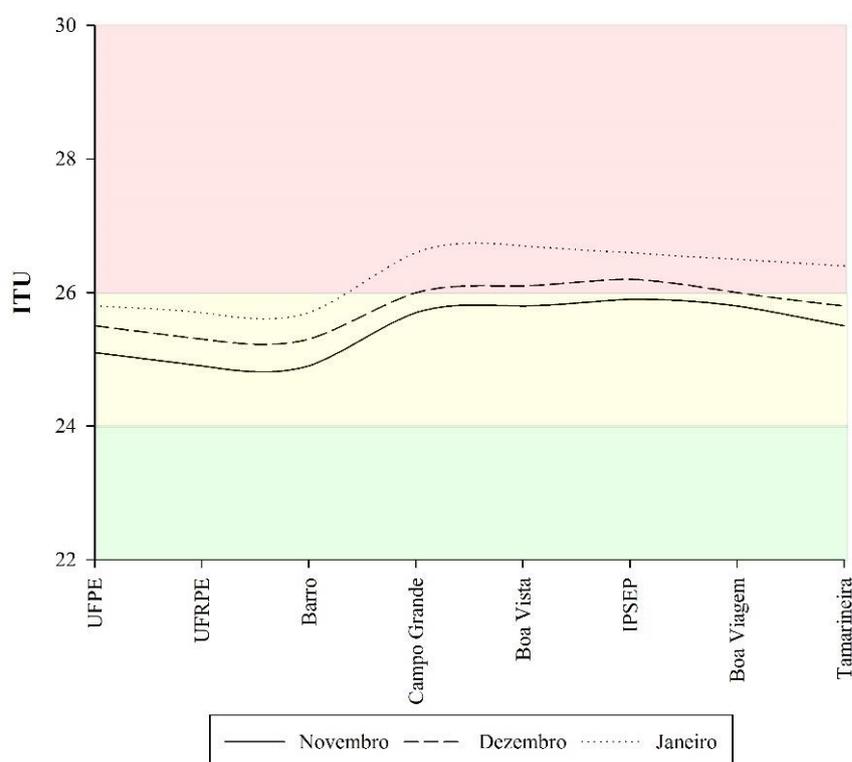
O período de maior ITU foi observado durante as tardes. No mês de novembro a média para o período foi calculada em 27,2. O ITU extremamente desconfortável tem seu ápice na estação do IPSEP (28,3). O menor valor (26,2) foi calculado na Tamarineira.

O mês de dezembro apresenta o ITU médio de 27,2, assim como novembro. O menor valor foi calculado na ECD da Tamarineira (26,4), enquanto o maior valor foi calculado no IPSEP (28,2).

Em janeiro a média foi calculada em 27,9 durante o período da tarde, maior média de ITU encontrada entre os períodos e meses. O maior desconforto térmico foi encontrado na ECD do IPSEP, com 28,6 de índice. A ECD da Tamarineira se mostrou a área mais amena com 27,1.

- **Noite (Figura 75)**

**Figura 75** - Índice de temperatura e umidade nas ECD durante o período da noite na cidade do Recife-PE.



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Durante a noite os índices voltaram a diminuir. No mês de novembro o ITU médio foi calculado em 25,5 (levemente desconfortável). A estação de maior ITU foi a IPSEP (25,9), com as estações da UFRPE e Barro apresentando os menores valores (24,9).

No mês de dezembro o ITU médio para a cidade do Recife no período da noite foi calculado em 25,8. E mais uma vez a UFRPE e o Barro apresentaram os menores valores (25,3). O IPSEP se mantém com o maior valor no mês de dezembro (26,2), marcando o índice de extremamente confortável mesmo durante a noite.

O período da noite no mês de janeiro teve um média de 26,3 no ITU. A ECD que apresentou o maior índice foi a da Boa Vista (26,7), índice extremamente desconfortável. Os menores índices foram encontrados nas estações Barro e UFRPE (25,7), índices levemente desconfortáveis.

### **3.5.2 Índice de temperatura e umidade nas médias horárias**

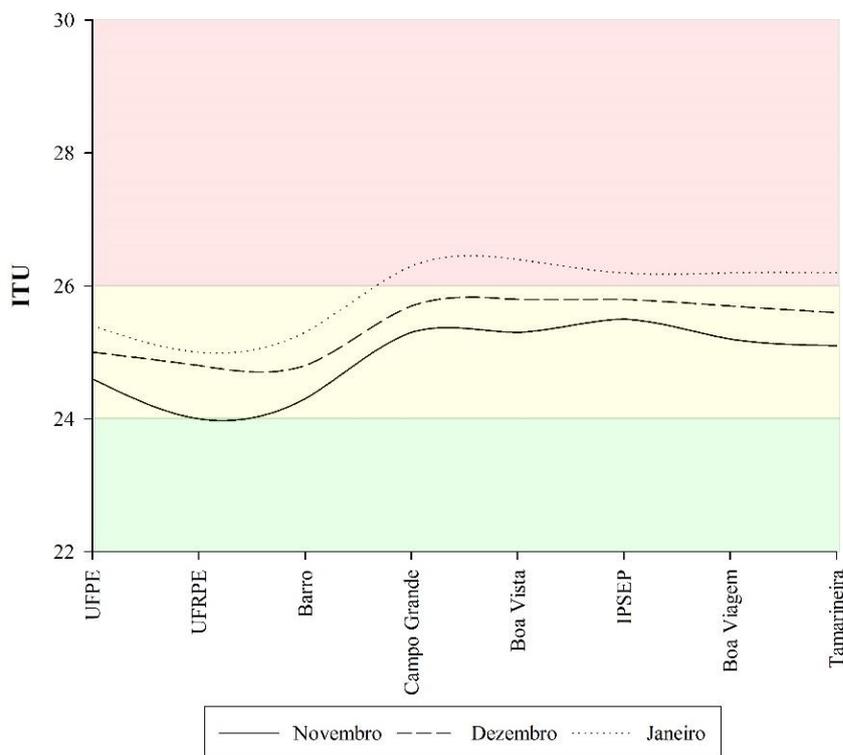
O ITU calculado para as ECD, nos horários meteorológicos padrão, serão apresentados a seguir.

- **00:00h (Figura 76)**

Durante a primeira hora do dia no mês de novembro, o ITU mais ameno foi registrado na ECD da UFRPE (24, considerado confortável). A ECD de menor conforto foi IPSEP, que apresentou índice levemente desconfortável de 25,5. A diferença entre a ECD de maior e menor desconforto foi de 1,5.

Em dezembro, o menor valor às 00:00h foi calculado para as ECDs da UFRPE e Barro (24,8, levemente desconfortável). Os maiores índices provieram da Boa Vista e do IPSEP, índices de 25,8 (Levemente desconfortável). A amplitude do índice foi de 1.

Em janeiro há aumento no índice para 00:00h. O menor valor foi calculado em 25 (UFRPE), considerado levemente desconfortável. Com diferença de 1,5 em relação ao menor, a ECD da Boa Vista apresentou o maior valor no horário (26,4). Mesmo na primeira hora da manhã os maiores valores romperam o limiar de índices extremamente desconfortáveis.

**Figura 76** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 00:00hr na cidade do Recife-PE.

Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

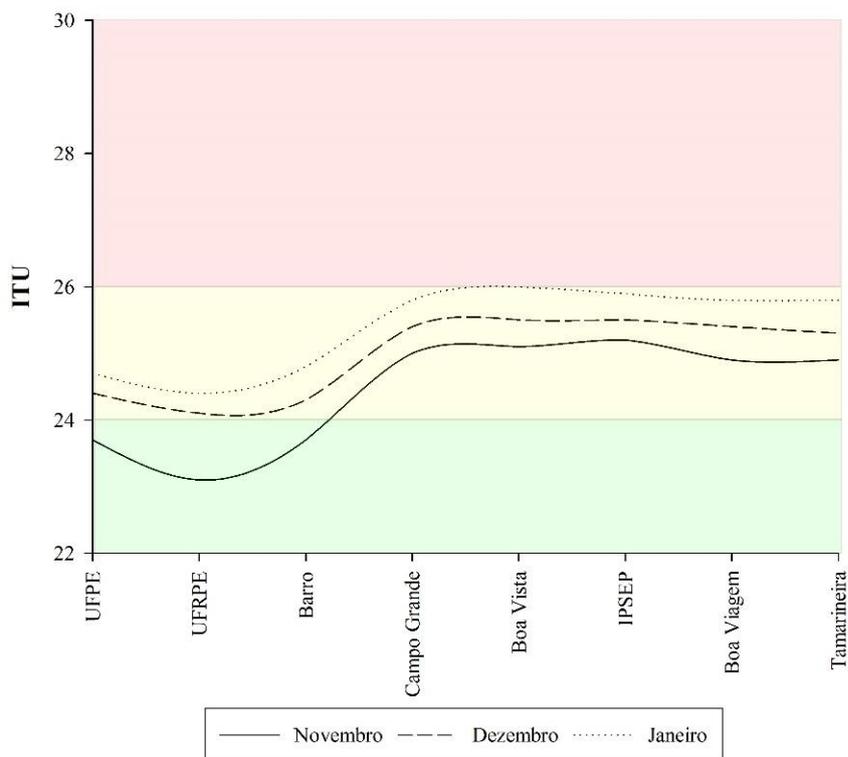
- **03:00h (Figura 77)**

Os índices diminuem às 03:00h do mês de novembro em relação ao horário anterior. O menor índice procedeu da UFRPE, índice confortável de 23,1. O índice mais desconfortável derivou da ECD do IPSEP (25,2, levemente desconfortável). A amplitude para o horário foi de 2,1.

Em dezembro a amplitude entre os índices foi de 1,4 às 03:00h. O índice de maior desconforto foi calculado para as ECDs da Boa Vista e IPSEP, ambas com índice levemente desconfortável de 25,8. A UFRPE foi a estação de coleta de dados que apresentou os dados mais confortáveis para o presente horário em dezembro. A UFRPE apresentou índice confortável levemente desconfortável de 24,1.

No mês de janeiro o menor ITU proveio da ECD da UFRPE às 03:00h, com índice levemente desconfortável de 24,4. O maior índice decorreu na Boa Vista, valor no limiar entre levemente e extremamente desconfortável (26). A diferença entre maior e menor índice foi de 1,6.

**Figura 77** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 03:00hr na cidade do Recife-PE.



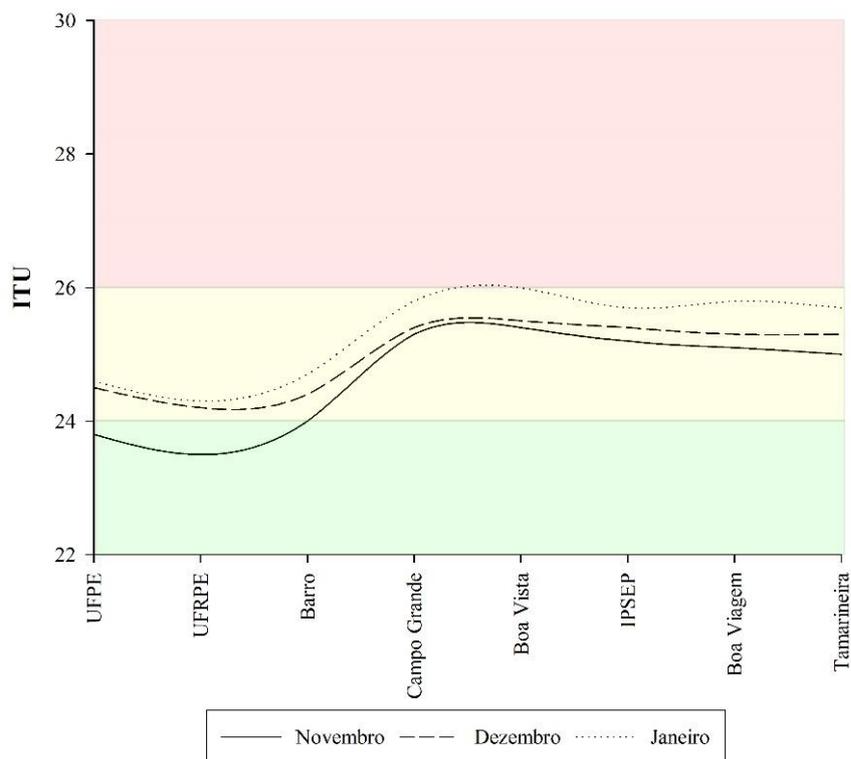
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **06:00h (Figura 78)**

Às 06:00 foi calculada amplitude de 1,9 no mês de novembro. O maior índice para o horário no mês foi calculado na ECD da Boa vista (25,4). O menor valor se mantém na UFRPE às 06:00h. A UFRPE registrou valores levemente confortáveis de 23,5.

Em dezembro, a diferença entre o ITU das ECDs de maior e menor valor foi de 1,4 às 06:00h. O maior conforto decorreu da UFRPE, com índice levemente desconfortável de 24,2. A Boa Vista se destacou como a mais desconfortável, apresentando índice de 25,5.

Em janeiro, a estação de coleta de dados que apresentou maior ITU às 06:00h foi a Boa Vista. O índice de 26 da Boa Vista se encontra no limiar entre levemente e extremamente desconfortável. A amplitude para o mês nesse horário foi a maior registrada, de 1,7. O índice mais confortável é proveniente da ECD da UFRPE.

**Figura 78** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 06:00hr na cidade do Recife-PE.

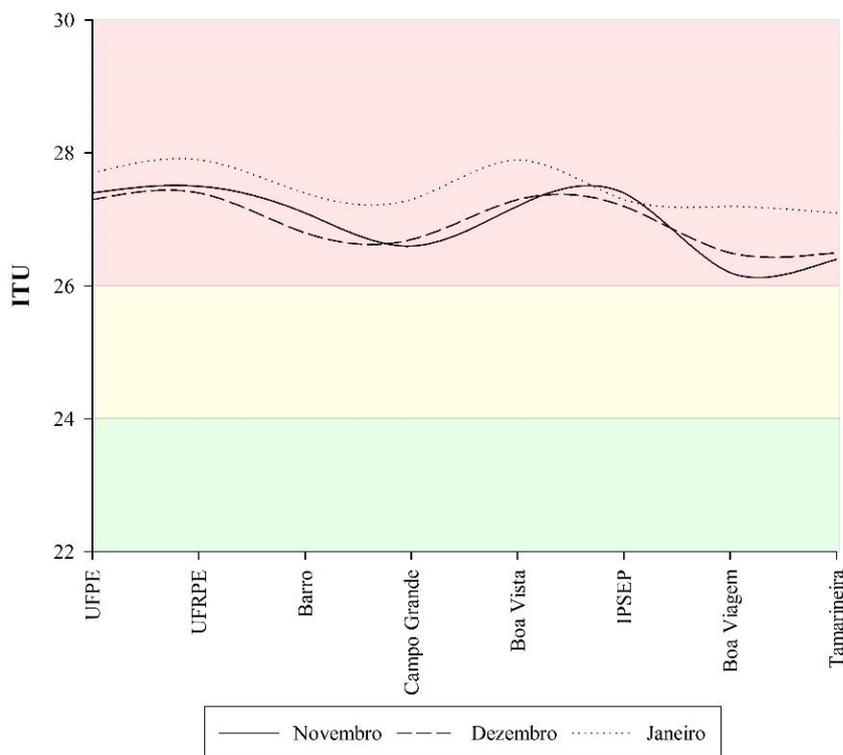
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **09:00h (Figura 79)**

O mês de novembro apresentou o maior índice na ECD UFRPE às 09:00h (índice de 27,5). A UFRPE passa de ECD de maior conforto para o menor conforto entre 06:00h e 09:00h. A estação de maior conforto para o horário em novembro é Boa Viagem (26,2). A ECD de Boa Viagem apresentou uma variação de 1,3 em relação a UFRPE.

A UFRPE se mantém como ECD de maior desconforto para as 09:00h no mês de dezembro. A estação UFRPE apresentou índice de 27,4 (extremamente desconfortável). O menor valor em dezembro foi encontrado em duas ECDs, Boa Viagem Tamarineira (26,5). A amplitude no mês foi de 0,9.

Em janeiro, duas ECDs apresentaram os maiores valores de ITU. UFRPE e Boa Vista marcaram 27,9 no índice de extremo desconforto. A estação de menor valor demonstrou índice com ITU 0,8 menor que Boa Vista e UFRPE. O menor valor foi calculado para Tamarineira.

**Figura 79** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 09:00hr na cidade do Recife-PE.

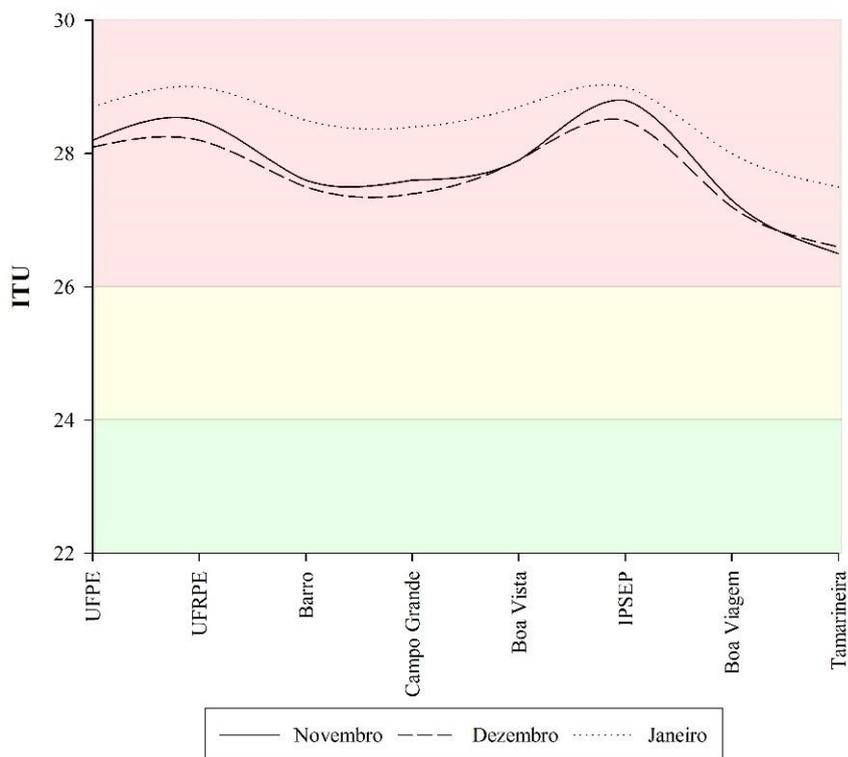
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **12:00h (Figura 80)**

Ao meio-dia foi obtido um diferencial de 2,2 nos índices de ITU para novembro. O maior índice foi calculado para a ECD do IPSEP (28,8). O menor valor é proveniente da ECD da Tamarineira, com 26,5. Todas as ECDs apresentaram dados extremamente desconfortáveis ao meio-dia.

Em dezembro se repetem Tamarineira e IPSEP como o menor e maior valor calculado. Com amplitude de 1,9 em relação ao IPSEP, a Tamarineira apresenta índice de 26,6. Foi calculado ITU de 28,5 para a ECD do IPSEP.

As ECDs da UFRPE e IPSEP registraram 29 de ITU no mês de janeiro, significando as estações de maior desconforto térmico. A estação mais amena apresentou índice de 27,5 (Tamarineira). A diferença entre os maiores e menor valor foi de 1,4.

**Figura 80** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 12:00hr na cidade do Recife-PE.

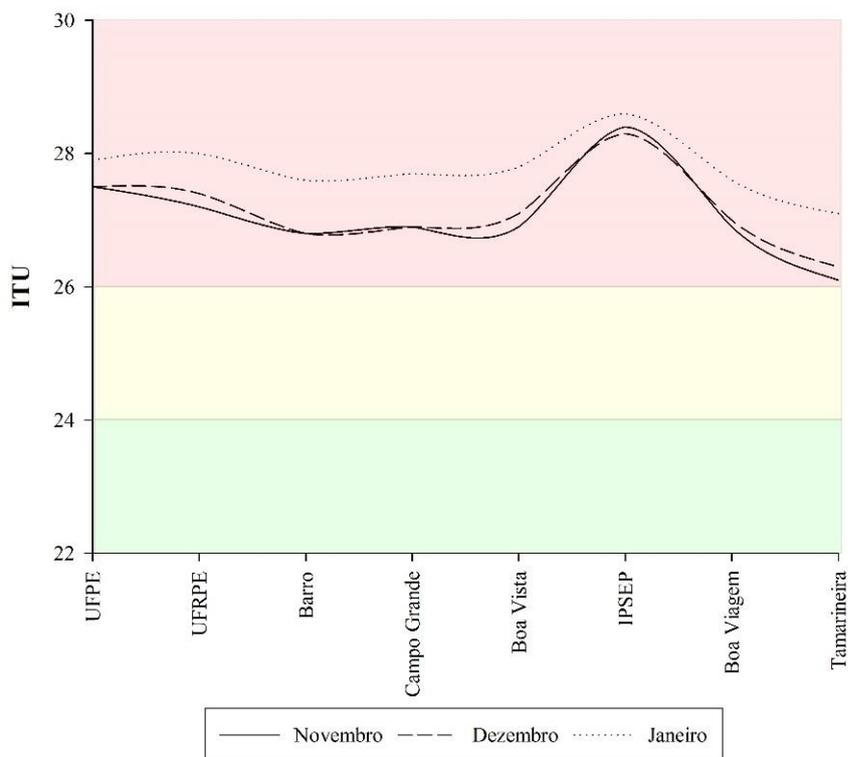
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **15:00h (Figura 81)**

Às 15:00h do mês de novembro o maior índice de ITU foi registrado na ECD do IPSEP (28,4). A Tamarineira se mantém como destaque de menor desconforto perante as demais estações, tendo apresentado índice de 26,1. A amplitude entre as estações do IPSEP e Tamarineira foi de 2,4.

Em dezembro a composição se mantém para o horário. A Tamarineira apresenta o menor índice, de 26,3. A ECD do IPSEP mostrou o maior índice calculado. Com 28,3, o IPSEP demonstrou variação de 2 em relação ao índice da Tamarineira.

Amplitude de 1,5 entre os dados da maior e menor ECD foi calculada pra janeiro. Às 15:00h do mês, o índice mais confortável foi calculado na Tamarineira (27,1), enquanto o IPSEP apresentou o índice de menor conforto entre as ECDs (28,6).

**Figura 81** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 15:00hr na cidade do Recife-PE.

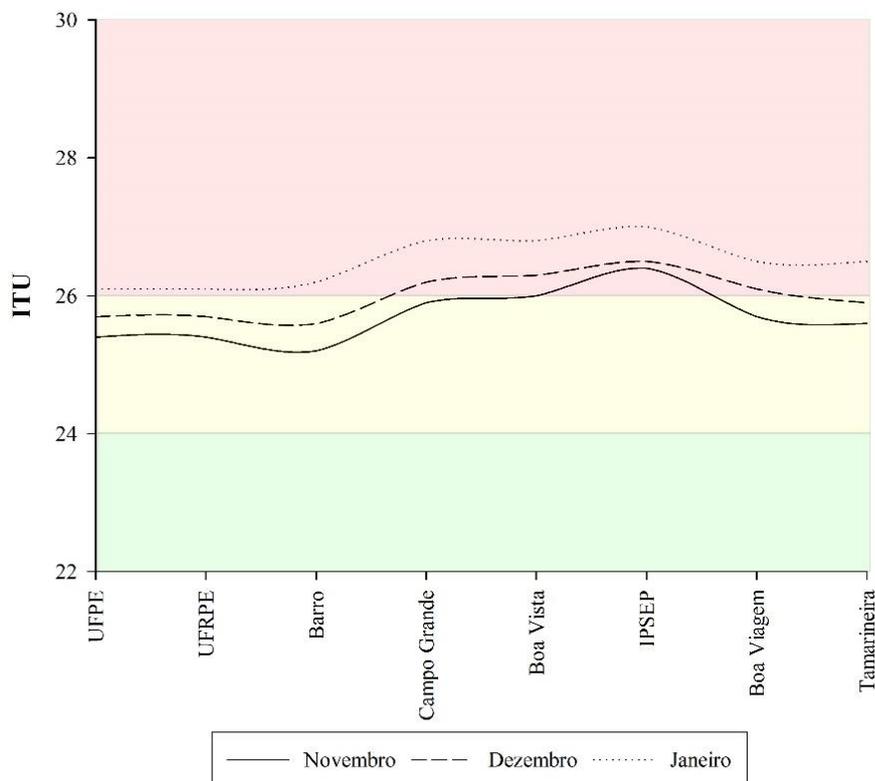
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **18:00h (Figura 82)**

No início da noite há uma mudança nas estações que apresentaram menores índices. No mês de novembro o menor índice foi calculado para a ECD do Barro (25,2). O maior valor continua destacando a ECD do IPSEP, com 26,4. A diferença de ITU entre as duas estações é pequena nesse horário, de apenas 1,1.

Em dezembro a padrão se mantém. A estação do Barro teve o ITU calculado em 25,6, menor valor. O IPSEP apresenta o maior desconforto, com 26,5. A amplitude entre os dados das duas estações foi de apenas 0,9.

O valor médio às 18:00h no mês de janeiro teve amplitude de 0,8 entre as estações de maior e menor valor. O maior valor foi apresentado pela estação de coleta de dados do IPSEP (27). As estações da UFPE e UFRPE apresentaram a menor média no horário, com índice de 26,1.

**Figura 82** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 18:00hr na cidade do Recife-PE.

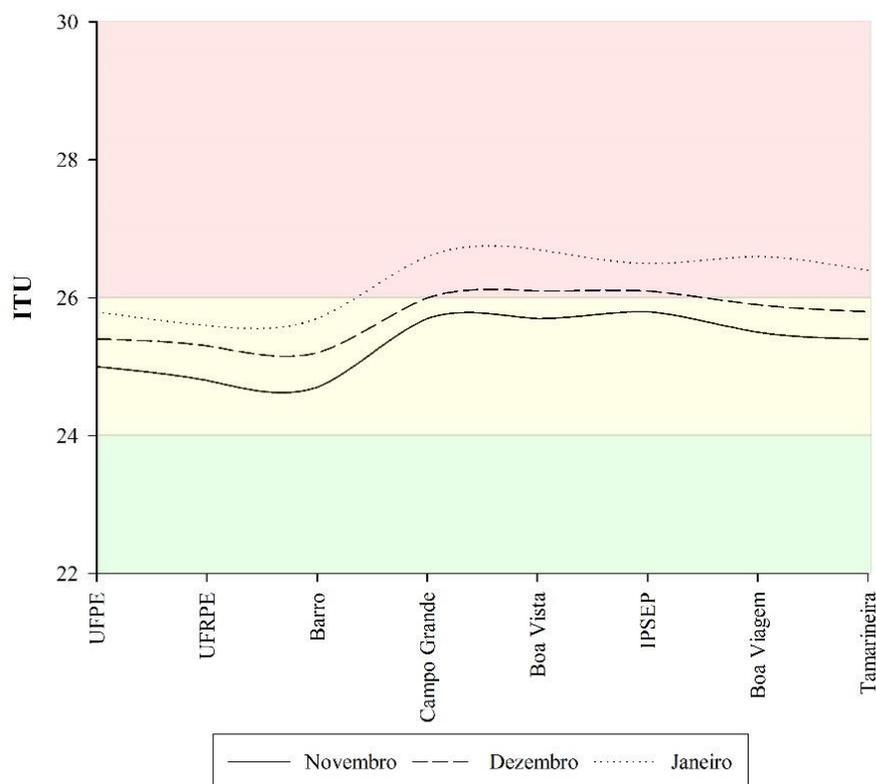
Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **21:00h (Figura 83)**

Em novembro o índice de maior desconforto foi calculado na ECD do IPSEP às 21:00h. O índice de 25,8 no IPSEP apresentou diferença de 1,1 em relação à estação mais confortável (ECD do Barro, com ITU de 24,7).

Uma amplitude de 0,9 de ITU foi calculada no mês de dezembro às 21:00h. As estações de maior desconforto foram Boa Vista e IPSEP, com ITU de 26,1. A estação de maior conforto foi o Barro, o ITU proveniente da estação foi de 25,2.

Em janeiro a UFRPE apresentou o índice mais confortável às 21:00h. A ECD da Boa Vista apresentou ITU 1,1 maior que a UFRPE e foi considerada a ECD mais desconfortável para o horário. O índice de temperatura e umidade calculado para a ECD da Boa Vista foi de 26,7.

**Figura 83** - Índice de temperatura e umidade nas ECDs às 21:00hr na cidade do Recife-PE.

Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3.6 ÍNFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS NO ITU

Para entender qual a influência que os elementos climáticos trazem ao índice de temperatura e umidade foi utilizado um teste estatístico. Dessa forma foi possível avaliar qual a correlação entre os dados. A análise foi feita para o período correspondente ao mês de janeiro.

Os resultados apresentados na **Tabela 1** demonstram forte correlação positiva entre o ITU e os dados de temperatura do ar, ou seja, com o aumento da temperatura há um aumento do índice. O resultado era esperado, pois que o ITU provém dos dados de temperatura e umidade.

As correlações com os dados de umidade foram de negativas moderadas até negativas fracas. Com o ITU diminuindo na medida em que a umidade aumenta. Com os resultados obtidos, pode-se observar que os dados de temperatura se mostraram mais importantes que os de umidade na definição do ITU para o mês.

**Tabela 1** - Coeficiente de correlação linear de Pearson entre o Índice de temperatura e umidade e os elementos climáticos para o mês de janeiro. Os valores em vermelho indicam correlação fraca; os dados em verde, correlação moderada; enquanto os dados em azul indicam forte correlação.

Elementos climáticos	UFPE	UFRPE	Barro	Campo Grande	Boa Vista	IPSEP	Boa Viagem	Tamarineira
ITU X Umidade	-0,48	-0,46	-0,60	-0,46	-0,45	-0,69	-0,28	-0,13
ITU X Temperatura	0,82	0,81	0,97	0,96	0,96	0,98	0,93	0,75
ITU X Dir. do vento	-0,66	-0,68	-0,71	-0,61	-0,58	-0,68	-0,63	-0,35
ITU x Vel. do Vento	0,20	0,18	0,27	0,09	0,13	0,23	0,05	-0,10
ITU x Raj. de Vento	0,30	0,30	0,36	0,12	0,17	0,24	0,10	-0,08
ITU x Pressão	-0,15	-0,09	0,10	-0,15	-0,16	-0,09	-0,06	-0,29
ITU x Radiação	0,35	0,31	0,31	0,33	0,35	0,34	0,27	0,08
ITU x Cobertura de nuvens	-0,51	-0,49	-0,61	-0,49	-0,46	-0,62	-0,46	-0,42

Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

A direção do vento se mostrou um importante fator na configuração dos dados de ITU. Apresentou correlação forte na ECD do Barro, fraca na Tamarineira e moderada nas demais (**Figura 84**).

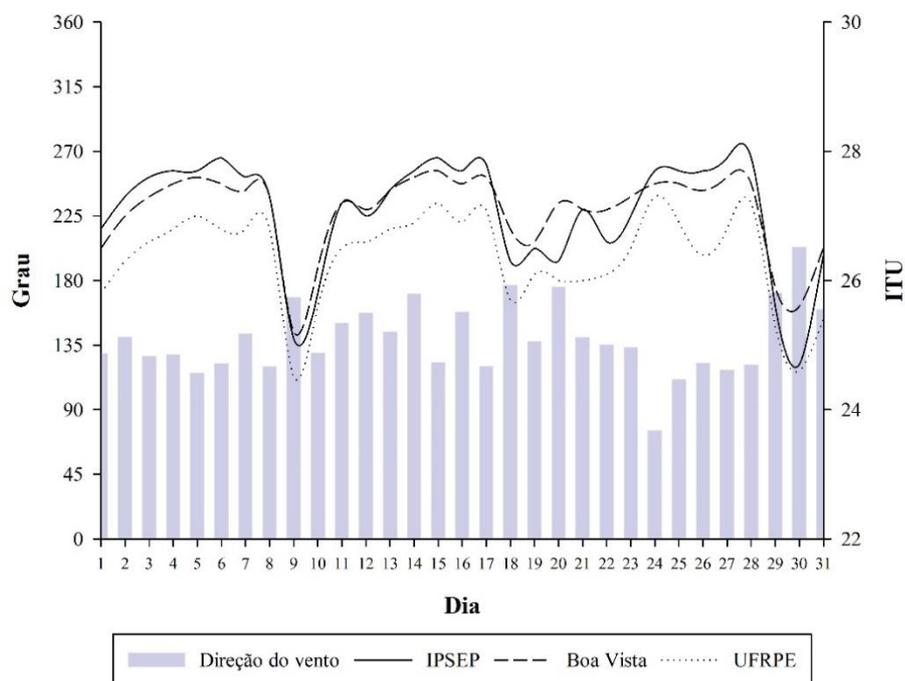
A forte correlação entre a direção do vento e a estação do Barro e a fraca correção com a tamarineira pode explicar o comportamento do ITU ao longo do dia. A medida que os ventos se deslocam em direção ao Oeste a estação diminui seu índice. A ECD demonstrou baixos índices durante os horários em que os ventos de Leste dominam.

A velocidade e as rajadas de vento não apresentaram fortes correlações com os dados de ITU (**Figuras 85 e 86**), porém apresentaram um dado interessante, ao contrário das demais ECDs, a ECD da Tamarineira apresentou correlação negativa, o que significa que quando os ventos aumentam o índice diminui.

Como já foi apresentado, a velocidade e as rajadas de vento aumentam quando o vento provém do Sudeste ou Leste. Os dados indicam que a Tamarineira sofre grande influência do corredor de ventos formado pelo rio Capibaribe na composição do seu microclima.

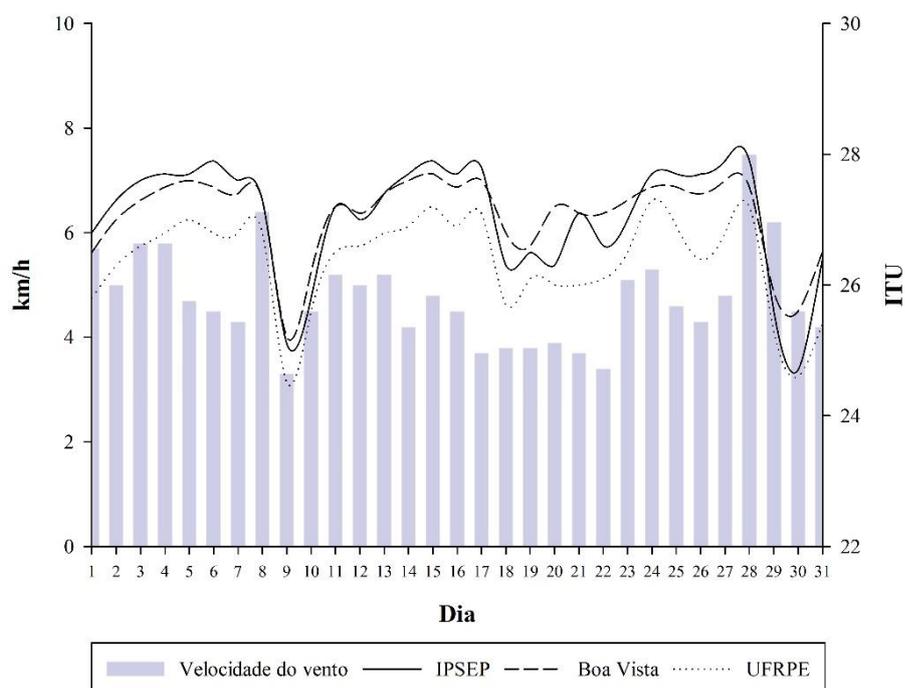
O teste indicou que há fraca correlação negativa entre o ITU e a pressão atmosférica. O resultado mostra que a o índice diminui à medida que a pressão aumenta. Resultado esperado pela característica física da atmosférica (**Figura 87**).

**Figura 84** - Relações entre o índice de temperatura e umidade com a direção do vento no mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



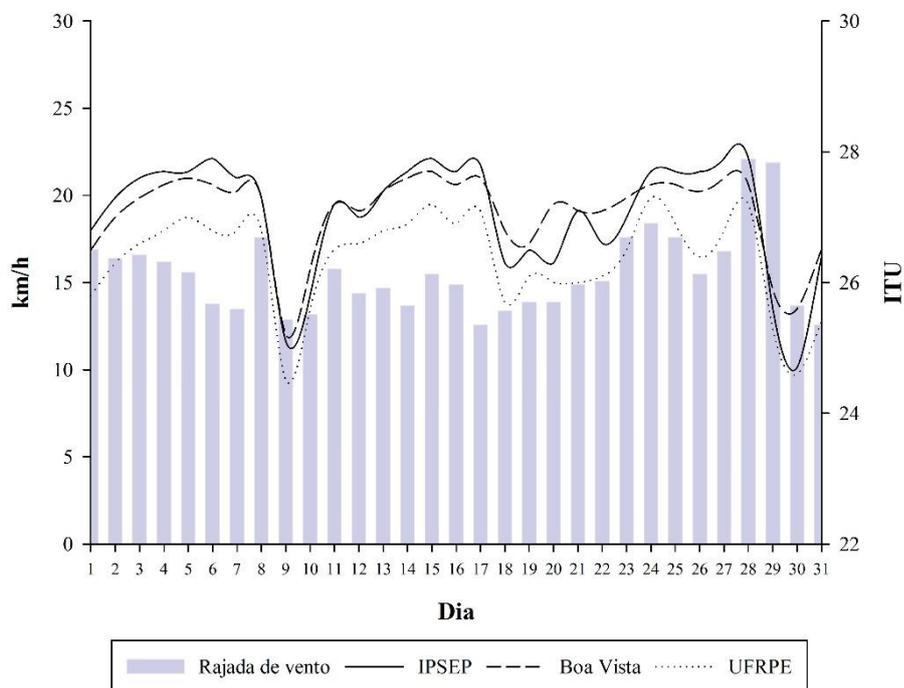
Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 85** - Relações entre o índice de temperatura e umidade com a velocidade do vento no mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 86** - Relações entre o índice de temperatura e umidade com as rajadas de vento no mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

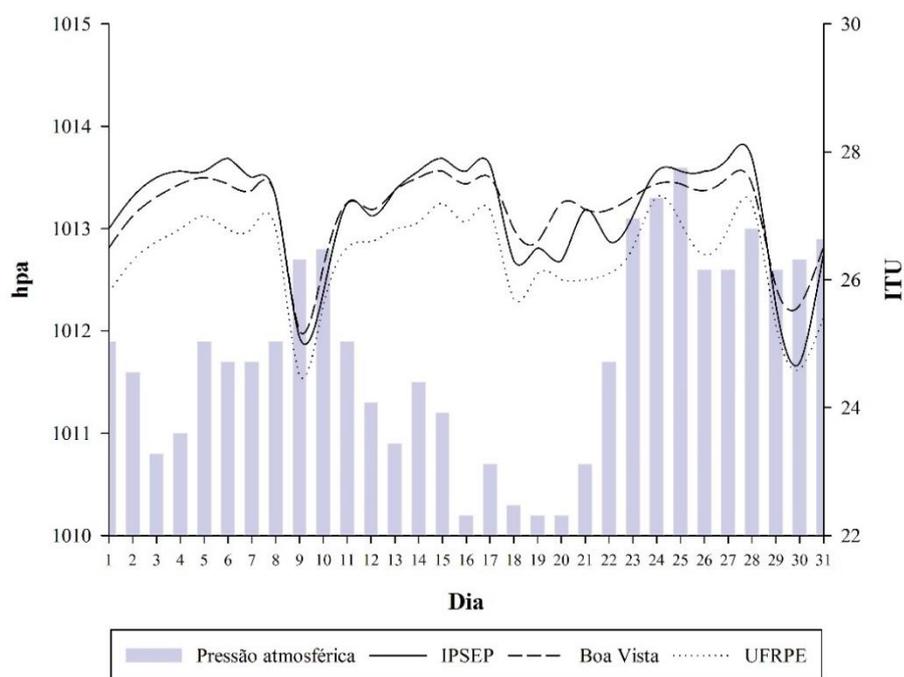
As correlações do ITU com os dados de radiação solar foram fracas positivas. A configuração positiva era esperada porque uma maior quantidade de radiação solar aumenta as temperaturas em qualquer ambiente (**Figura 88**).

A cobertura de nuvens apresentou correlação moderada negativa em todas as ECDs. O resultado corrobora com o comportamento físico dos ambientes, em que uma maior quantidade de nuvens diminui as temperaturas (**Figura 89**).

Os testes de correlação mostraram que a dinâmica dos dados de temperatura, umidade, direção do vento e cobertura de nuvens têm grande influência no comportamento do conforto térmico.

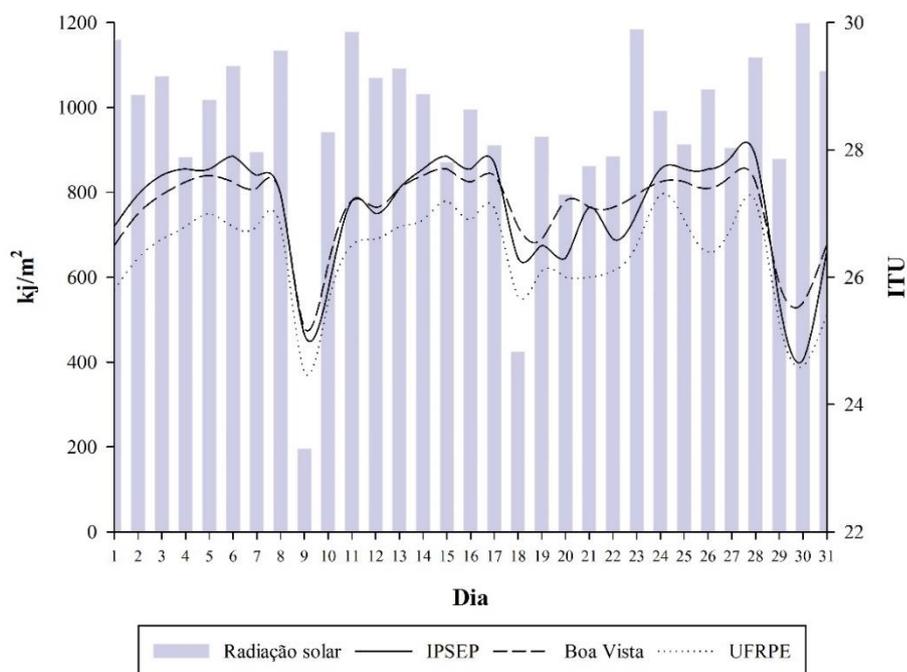
O teste de correlação também foi aplicado entre os elementos climáticos e os dados que formam o índice de temperatura e umidade (**Tabela 2**).

**Figura 87** - Relações entre o índice de temperatura e umidade com a pressão atmosférica do mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



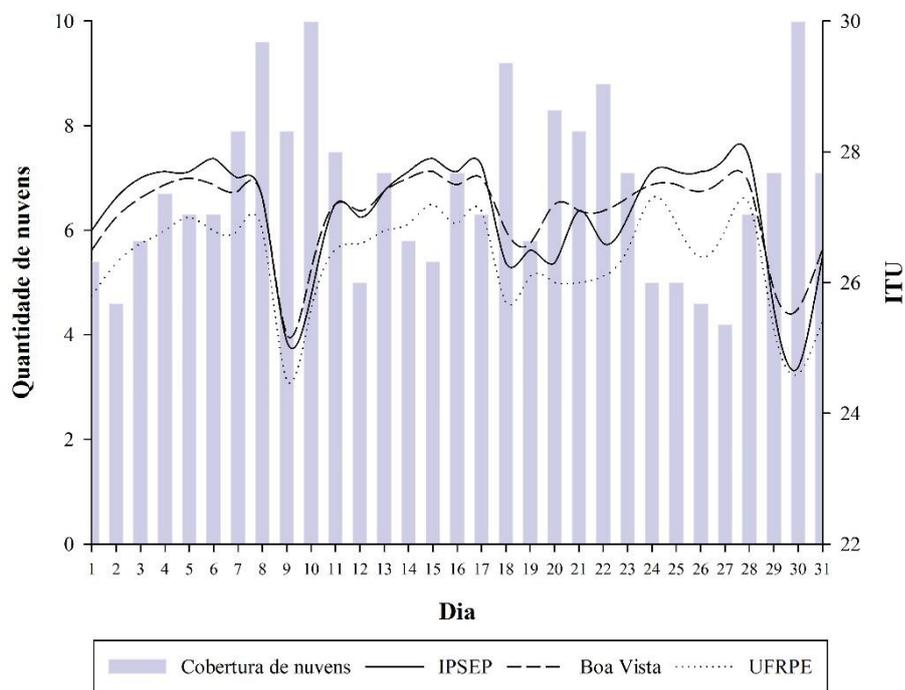
Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 88** - Relações entre o índice de temperatura e umidade com a radiação solar do mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 89** - Relações entre o índice de temperatura e umidade com a cobertura de nuvens do mês de janeiro na cidade do Recife-PE.



Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

A correlação entre os dados de umidade relativa do ar e temperatura foram fortes em todas as ECDs que se situam mais distantes do litoral ou de grandes corpos de água. Já as ECDs que se aproximam de corpos de água tiveram uma correlação moderada entre a temperatura e umidade.

A direção do vento apresentou forte correlação com a temperatura nas duas ECDs que apresentaram os valores mais baixos de temperatura nos períodos da noite e madrugada, Barro e UFRPE. As correlações foram moderadas para as demais ECDs. O resultado demonstrou outra vez a importância da dinâmica Leste-Oeste na direção do vento na formação do clima urbano da cidade do Recife.

A velocidade do vento apresentou correlação moderada em relação a temperatura, apenas a ECD do Barro apresentou fraca correlação. A correlação entre as rajadas de vento e os dados de temperatura informam que a temperatura das estações localizadas em direção ao Oeste da cidade é mais afetada pela dinâmica das rajadas.

**Tabela 2** - Coeficiente de correlação linear de Pearson entre os dados de temperatura e umidade e os elementos climáticos para cidade do Recife-PE no mês de janeiro.

Elementos climáticos	UFPE	UFRPE	Barro	Campo Grande	Boa Vista	IPSEP	Boa Viagem	Tamarineira
Temp. x Umid.	-0,70	-0,73	-0,79	-0,68	-0,68	-0,82	-0,41	-0,54
Temp. x Dir. do vento	-0,69	-0,70	-0,70	-0,63	-0,61	-0,69	-0,59	-0,65
Temp. x Vel do vento	0,48	0,44	0,38	0,44	0,46	0,42	0,42	0,48
Temp. x Raj. de vento	0,42	0,42	0,40	0,22	0,26	0,34	0,17	0,26
Temp. x Pressão	0,41	0,06	0,50	0,27	0,34	0,34	0,20	0,23
Temp. x Radiação	0,05	0,49	0,23	-0,02	-0,02	0,02	-0,12	-0,04
Temp. x Cobertura de nuvens	-0,59	-0,53	-0,66	-0,58	-0,56	-0,68	-0,55	-0,54
Umid. X Dir. do vento	0,51	0,53	0,48	0,40	0,40	0,55	0,37	0,35
Umid. x Vel do vento	-0,68	-0,73	-0,59	-0,52	-0,51	-0,56	-0,54	-0,60
Umid. x Raj. de vento	-0,68	-0,76	-0,70	-0,58	-0,61	-0,57	-0,62	-0,66
Umid. x Pressão	-0,37	-0,44	-0,47	-0,32	-0,32	-0,26	-0,39	-0,32
Umid. x Radiação	-0,64	-0,59	-0,46	-0,58	-0,58	-0,55	-0,64	-0,59
Umid. x Cobertura de nuvens	0,60	0,58	0,59	0,59	0,57	0,71	0,52	0,53

Fonte – INMET e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

A pressão e a radiação demonstraram correlação fraca com a temperatura da maioria das ECDs. Diferente da cobertura de nuvens que apresentou correlação moderada em todas as ECDs.

A correlação entre a direção do vento e a umidade relativa do ar trouxe resultado interessantes. As correlações mais fracas foram justamente nas estações que estão posicionadas nos ambientes com presença maior de corpos d'água, Tamarineira e Boa viagem.

Ambas as estações, Boa Viagem e Tamarineira, apresentaram correlação baixa entre o ITU e a umidade relativa do ar. O resultado é explicado por conta da menor amplitude nos valores de umidade ao longo do dia do que as demais estações. A amplitude na Tamarineira é de 12,5 % ao longo das médias diárias para o mês de janeiro, já a ECD do Barro apresenta 22,7 % de amplitude.

A velocidade e a rajada dos ventos apresentaram correlações fortes e moderadas em relação a umidade relativa do ar. O destaque ficou com as fortes correlações da UFRPE para os dois testes. O resultado indica que os ventos mais fortes levam mais umidade para o Oeste da cidade.

A correlação da umidade com a cobertura de nuvens mantém o padrão de correlações moderadas, com forte correlação na ECD do IPSEP. O resultado pode indicar que as condições geográficas da estação, localizada em uma espécie de sotavento antrópico, sofre

influência maior nos dados de umidade relativa do ar que as outras ECDs com o aumento da nebulosidade.

### 3.7 EVENTOS CLIMÁTICOS E SUAS REPERCUSSÕES NO ITU

Neste subcapítulo serão avaliados os comportamentos dos elementos climáticos durante os três eventos climáticos já descritos no trabalho.

- **O 10 de novembro, nebulosidade e as brisas marítimas**

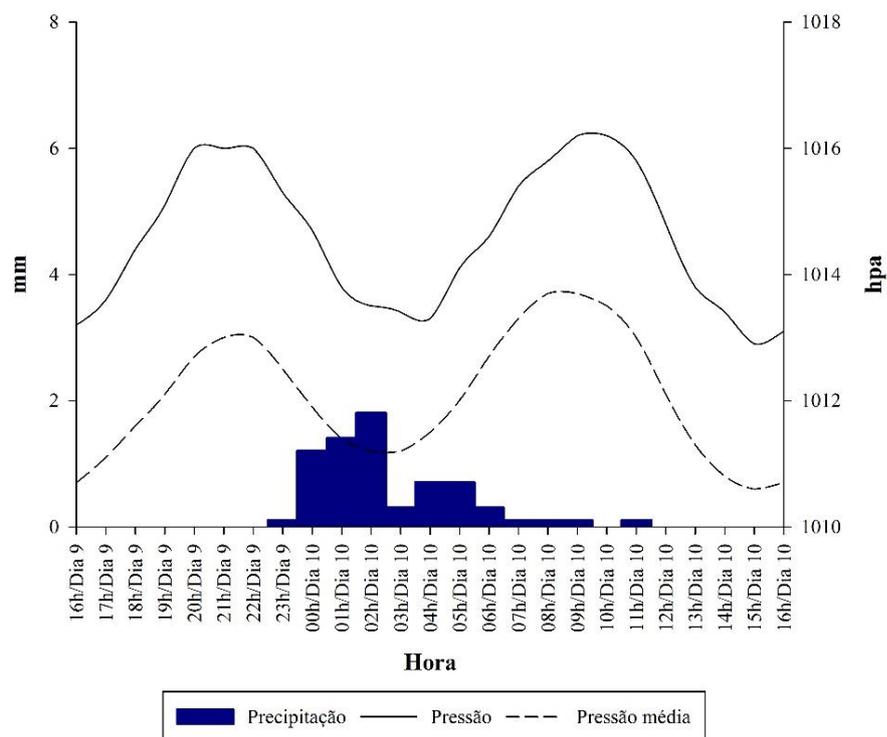
O comportamento da pressão atmosférica durante os eventos de chuva do dia 10 de novembro foi alterado em relação à média dos horários. No horário de maior precipitação, às 02:00h, choveu 1,8 mm. Nesse momento a pressão apresentou 2,4 hpa a menor que a média para o horário (**Figura 90**). O resultado é esperado, devido ao comportamento natural do aumento de pressão com a crescente umidade.

A direção do vento é fortemente alterada durante as chuvas. Uma intensa turbulência muda a direção do vento entre as horas. No horário de maior precipitação soprava da direção Norte-Nordeste. A média para o horário das 02:00h é de vento Sul (**Figura 91**).

O padrão de velocidade do vento não é alterado de maneira significativa em relação às médias, apesar de soprar 2 km/h mais rápido durante a maior quantidade de precipitação (**Figura 92**). As rajadas de vento foram mais fortes que a média durante o evento; foi 8,6 km/h mais rápida que a velocidade média às 02:00h (**Figura 93**).

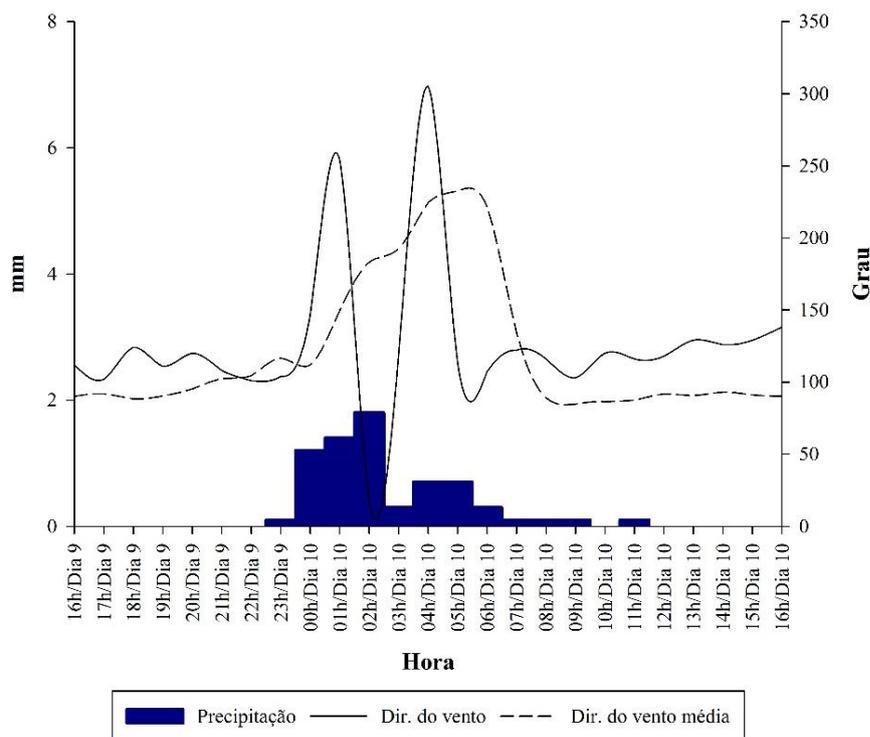
Para entender a influência do evento na umidade relativa do ar, temperatura do ar e ITU utilizamos os dados provenientes das ECDs da UFPE, por ser mais próxima à estação do INMET; e Boa Viagem, por ser a estação mais ao Oeste.

**Figura 90** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro na pressão



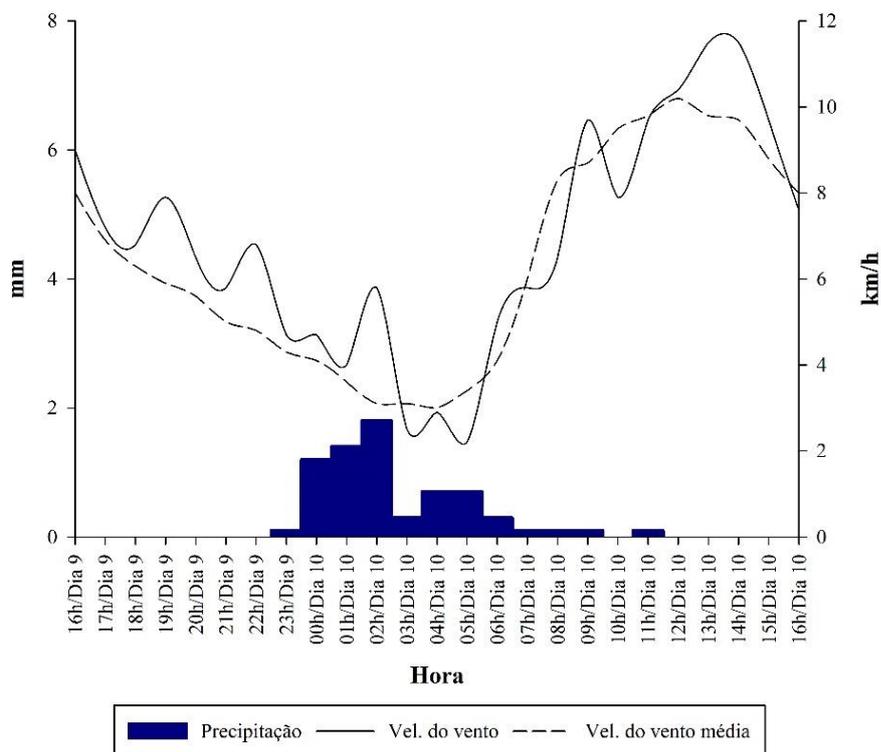
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 91** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro na direção do vento



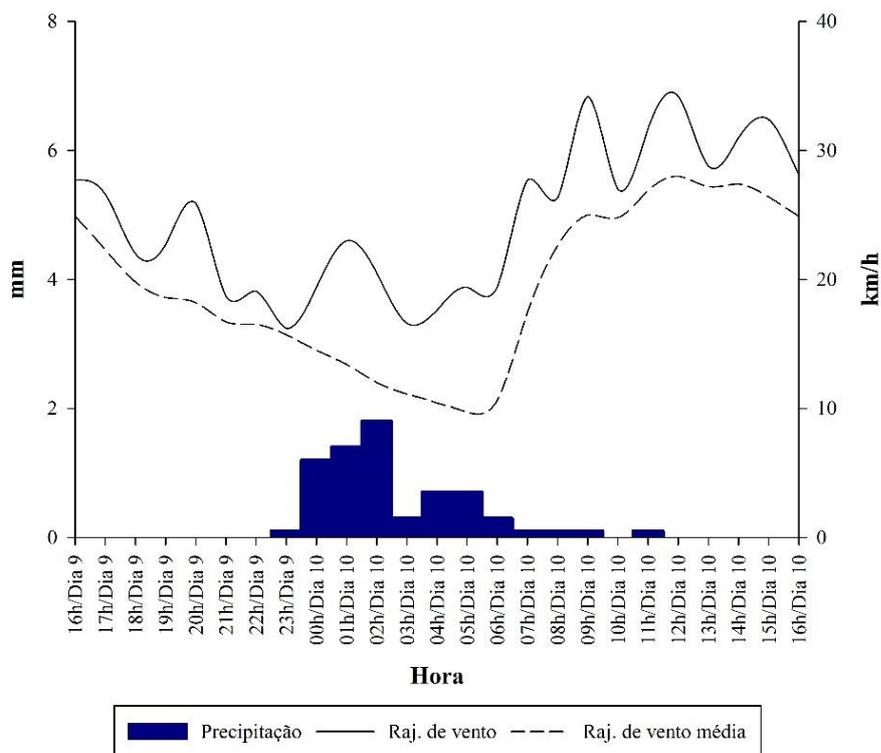
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 92** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro na velocidade do vento



Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 93** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro nas rajadas de vento



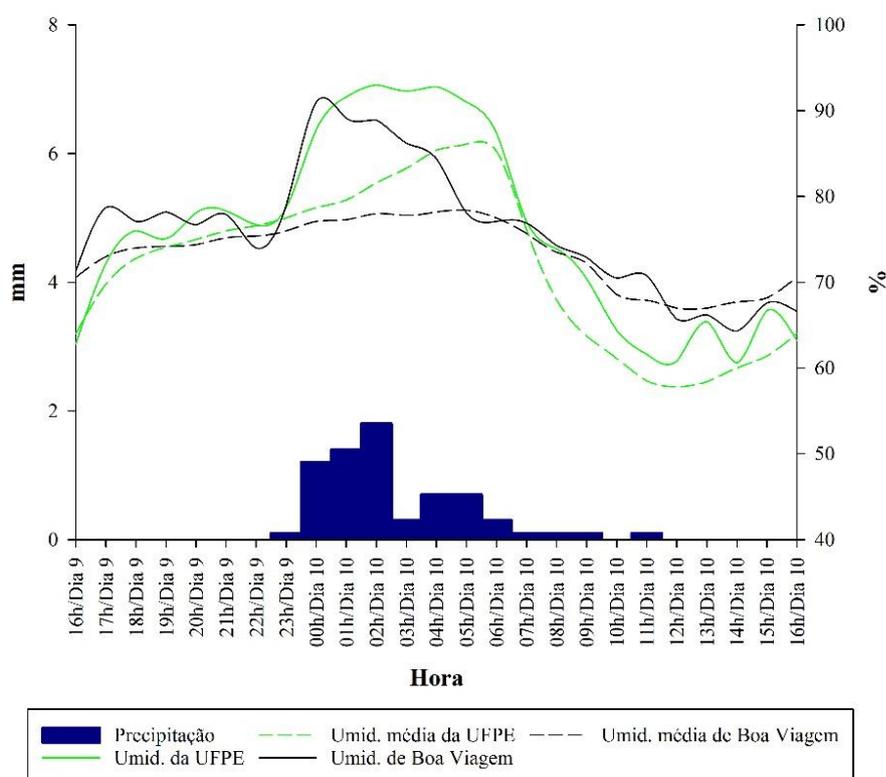
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

A umidade relativa do ar tem comportamento parecido com a média nos horários sem chuva (**Figura 94**). É durante as chuvas que há alteração dos valores para longe das médias. Na UFPE, os valores de umidade tiveram diferença de 11,4 % para mais de umidade às 02:00h. Em Boa Viagem o padrão se repete, a diferença foi de 10,9 % no horário.

A temperatura foi 1,4 °C mais baixa na UFPE, durante a maior chuva, em relação à média. Em Boa Viagem a diferença foi um pouco menor, de 1,1 °C. Nos demais horários seguiram aproximados das médias (**Figura 95**).

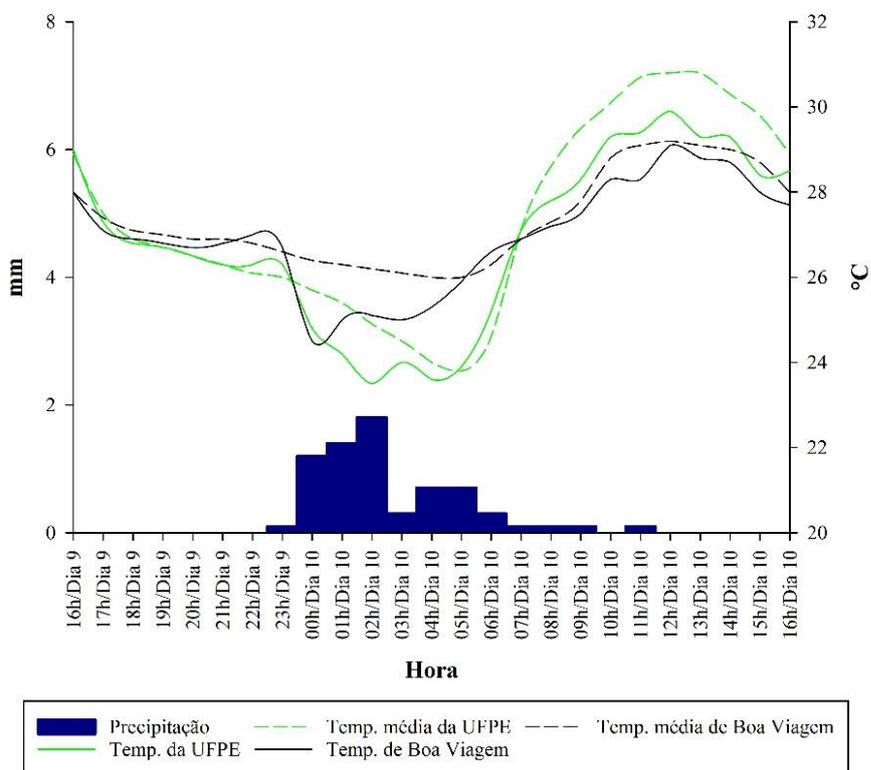
O índice de temperatura (**Figura 96**) e umidade foi mantido em levemente desconfortável para a ECD de Boa Viagem, mesmo no horário de maior precipitação. Boa viagem apresenta média de 25 às 02:00h. Nesse horário a ECD contabilizou 24,5 no índice. A diferença na UFPE foi um pouco maior durante as 02:00h. O índice médio de 23,9 desceu para 23,2.

**Figura 94** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro na umidade relativa do ar



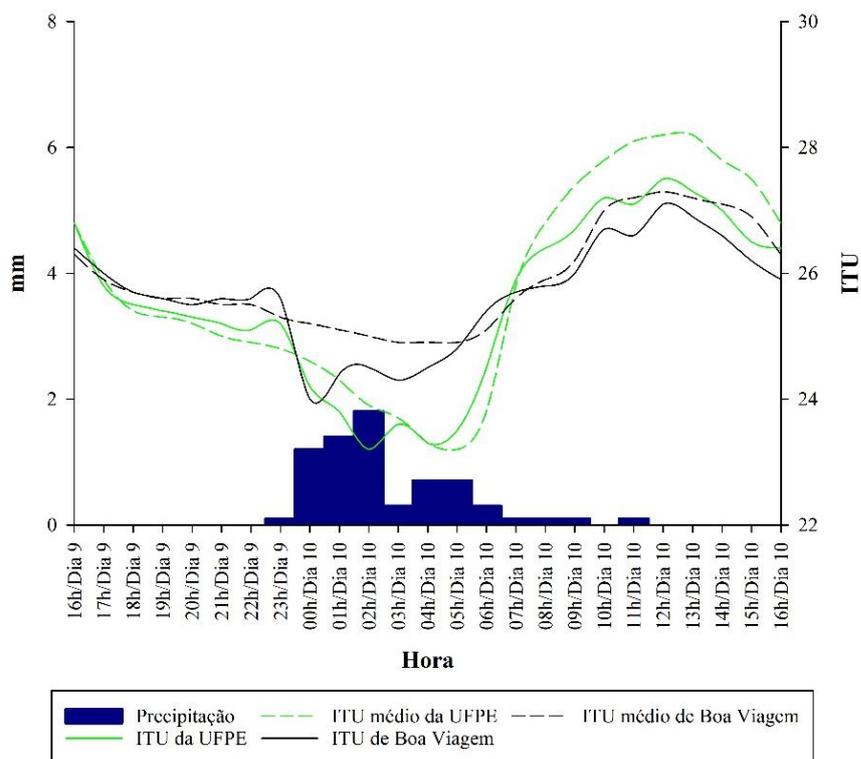
Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 95** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro na temperatura do ar.



Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 96** - Repercussões do evento climático do dia 10 de novembro no índice de temperatura e umidade.



Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

- **9 de janeiro, VCAN e ZCIT**

A variação entre a média de pressão atmosférica e a pressão registrada durante o dia 9 de janeiro ganha destaque no fim da manhã (**Figura 97**). Durante esse horário as chuvas fazem com que a pressão aumente, chegando a uma diferença de 1,9 hpa às 14:00h. A maior quantidade de chuva foi registrada às 14:00h, com total médio de 8,8 mm entre as estações do CEMADEN.

A direção do vento sofre grande variação durante as chuvas. Um interessante padrão notado para o dia é que durante as maiores chuvas o vento teve direção Norte-Nordeste (**Figura 98**).

A velocidade do vento se mostrou menor do que a média horária (**Figura 99**). No horário maior total pluviométrico a média é de 7,7 km/h. Durante às 14:00h o vento soprou com velocidade de 5,4 km/h. As rajadas de vento acompanharam o mesmo padrão (**Figura 100**), porém, ultrapassaram em 2,9 km/h a velocidade média durante a maior precipitação.

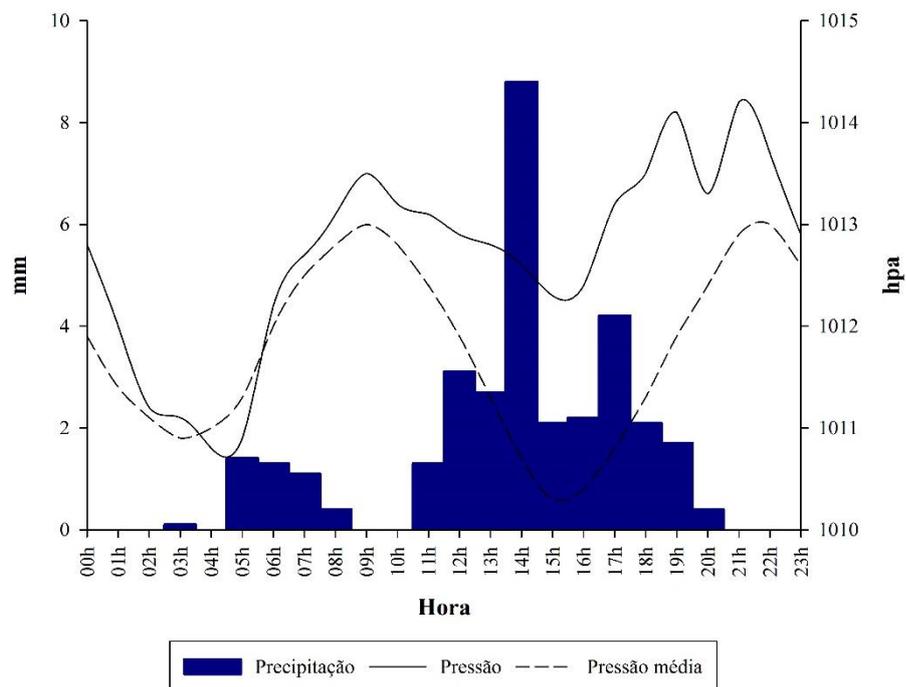
A umidade relativa do ar aumentou vertiginosamente durante as chuvas do dia 9 de janeiro. Durante às 14:00h a diferença para a média é de 20,5 % na UFPE e 13,4 % em Boa Viagem (**Figura 101**).

As temperaturas apresentam valores muito baixos relativos à média durante do dia 9 de janeiro (**Figura 102**). As ECDs apresentaram altos valores de temperatura para o horário das 14:00h em média. Durante as maiores chuvas do dia, a ECD da UFPE registrou temperatura de 23,6 °C. A temperatura na UFPE diferenciou em 6,4 °C para a média das 14:00h, de 30 °C. Boa Viagem apresentou diferença de 4,3 °C para o mesmo horário.

O evento chuvoso levou o índice de temperatura e umidade da ECD da UFPE de extremamente desconfortável, em média, para confortável, durante as 14:00h. A ECD de Boa viagem passou de extremamente desconfortável para levemente desconfortável durante o mesmo instante temporal.

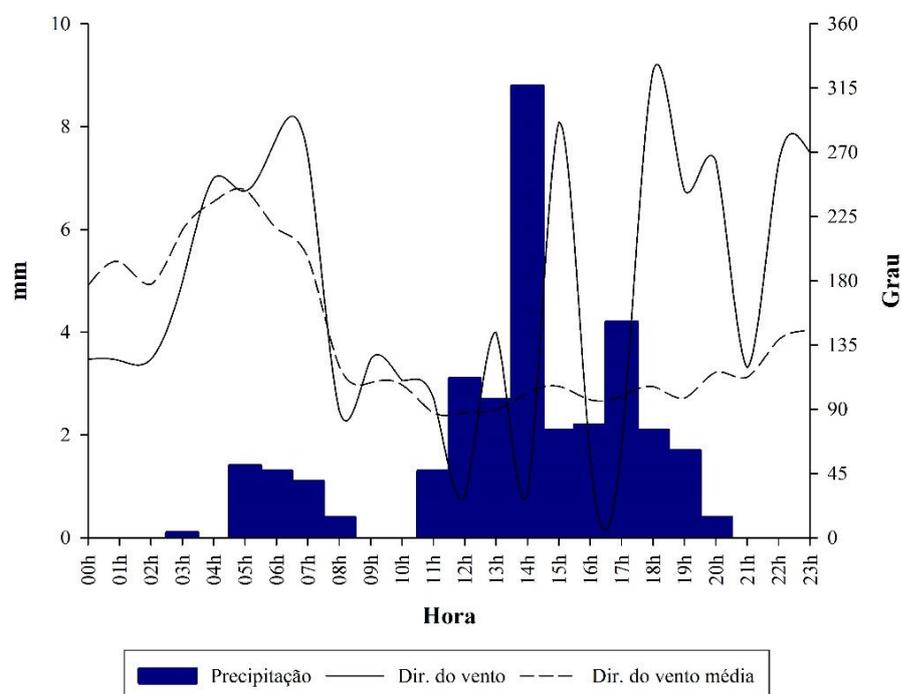
A diferença entre o ITU da UFPE e a média para 14:00h foi de 5 no índice. Em Boa viagem, a mesma diferença de foi de 3,4 (**Figura 103**).

**Figura 97** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro na pressão atmosférica



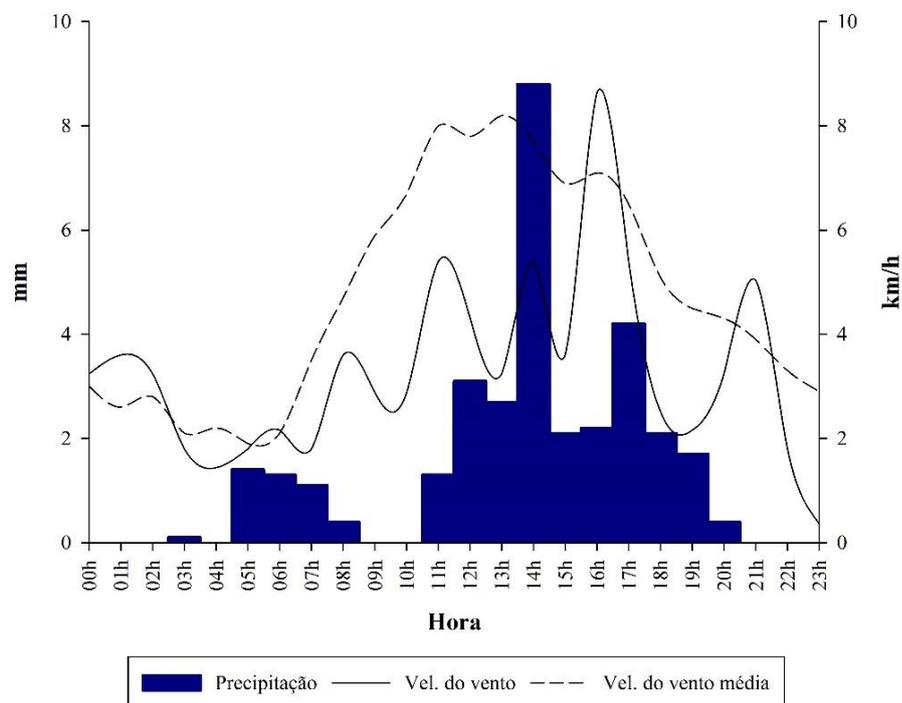
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 98** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro na direção do vento para a cidade do Recife-PE.



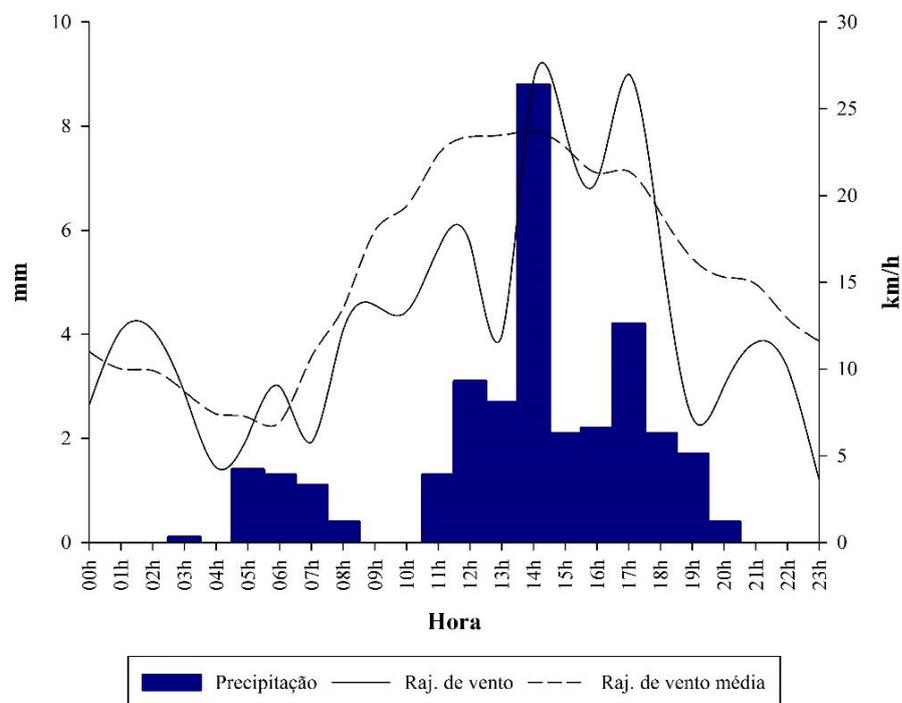
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 99** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro na velocidade do vento para a cidade do Recife-PE.



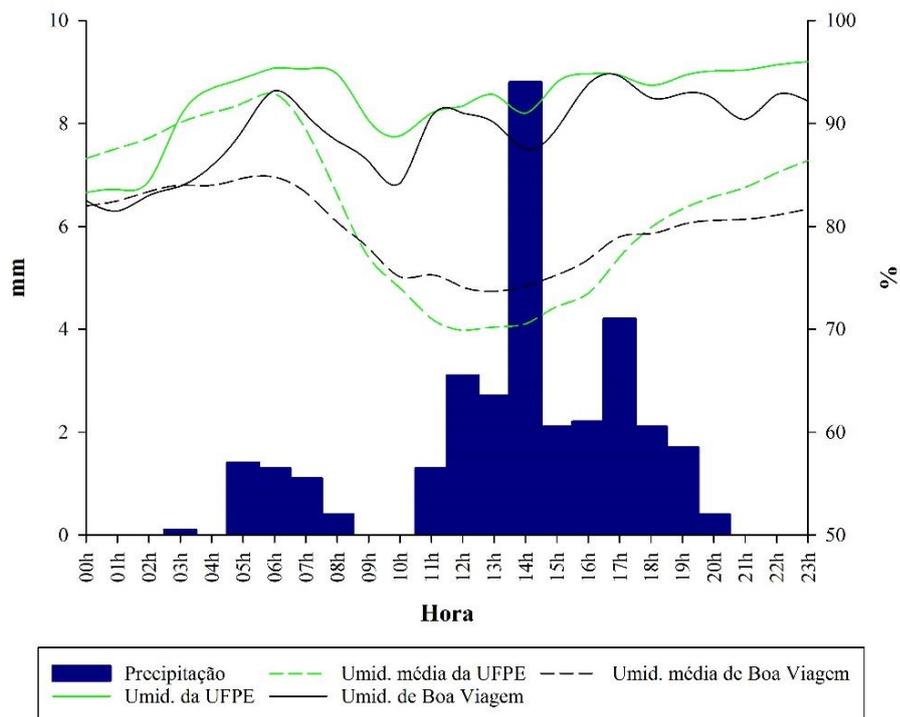
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 100** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro nas rajadas de vento para a cidade do Recife-PE.



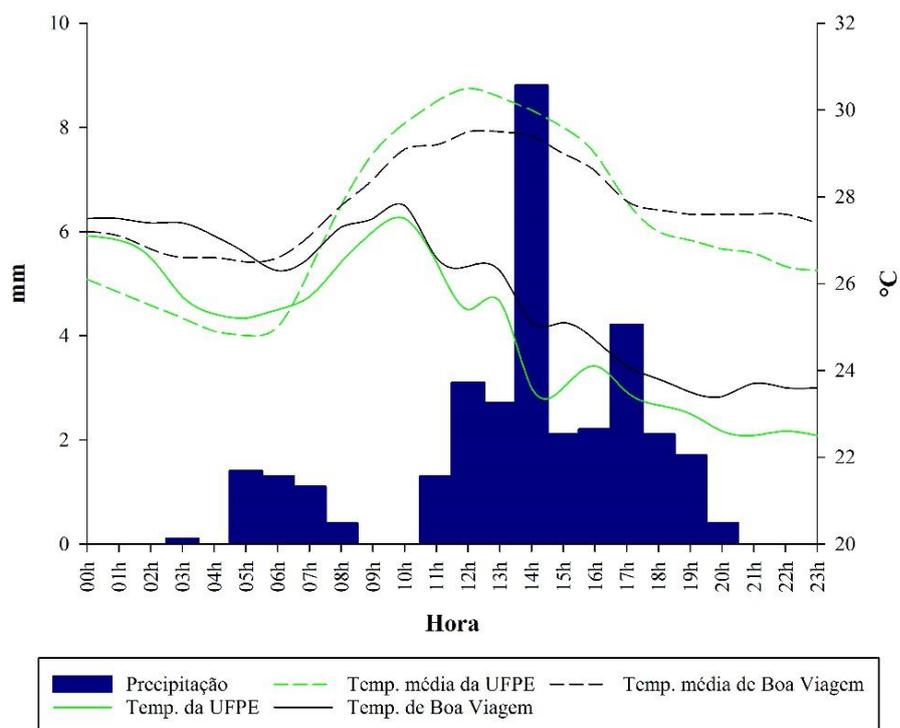
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 101** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro na umidade relativa do ar para a cidade do Recife-PE.



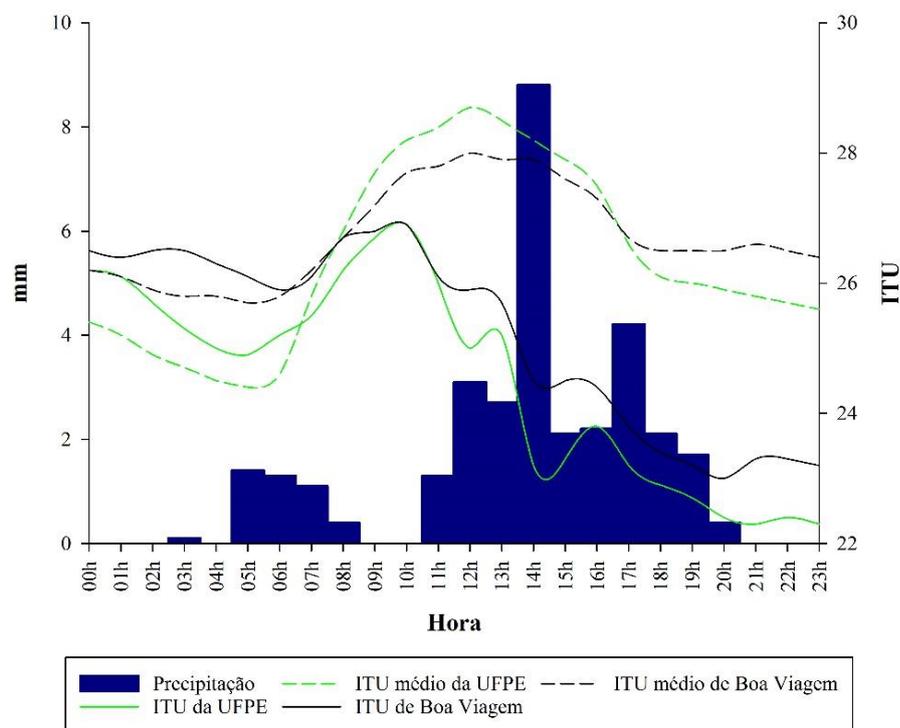
Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 102** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro na temperatura do ar para a cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 103** - Repercussões do evento climático do dia 9 de janeiro no índice de temperatura e umidade para a cidade do Recife-PE.



Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

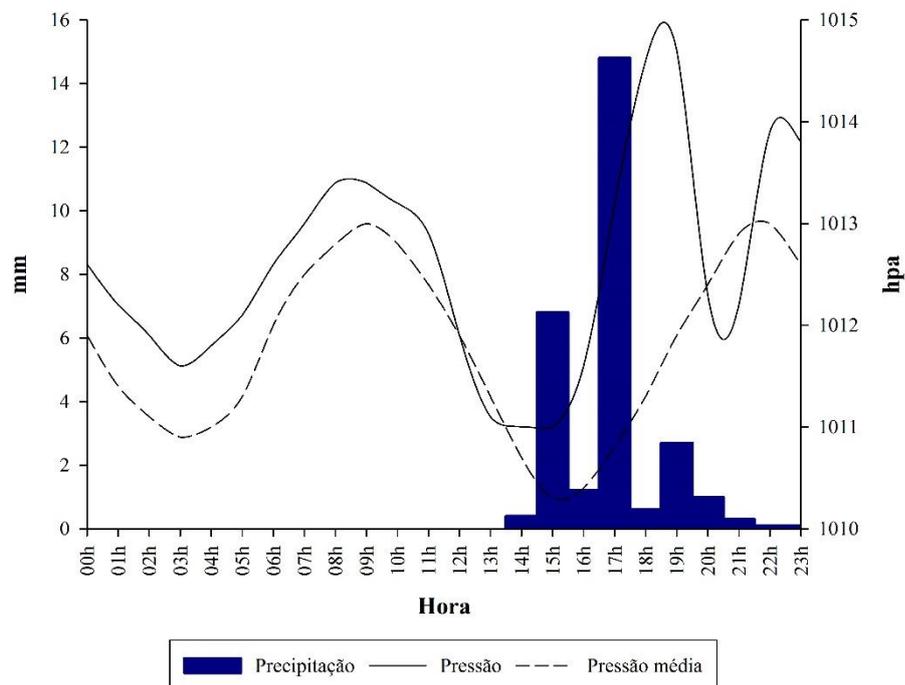
- **29 de janeiro, VCAN e Microburst**

O evento do 29 de janeiro se caracterizou pela força e velocidade com que ocorreu. A maior quantidade de chuva registrada justamente no mesmo horário em que houve o *microburst*, ou microexplosão, total de 14,8 mm. O fenômeno ocorreu às 17:00h.

A pressão atmosférica subiu rapidamente no horário do evento, ao passo que antes acompanhava os valores médios (**Figura 104**). Às 18:00h, a pressão se distanciou 3,3 hpa da média.

A direção do vento apresentou forte turbulência durante o dia. No momento da microexplosão apresentou direção Sudoeste. A média para o horário é de ventos de Leste (**Figura 105**). A velocidade do vento esteve acima da média em diversos horários (**Figura 106**), porém o grande destaque foi para a rajada de vento provocada pela microexplosão (**Figura 107**). A rajada atingiu ventos de 47,52 km/h. A diferença para a média no horário foi de 26,2 km/h, mais do que o dobro da média.

**Figura 104** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro na pressão atmosférica para a cidade do Recife-PE.



Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

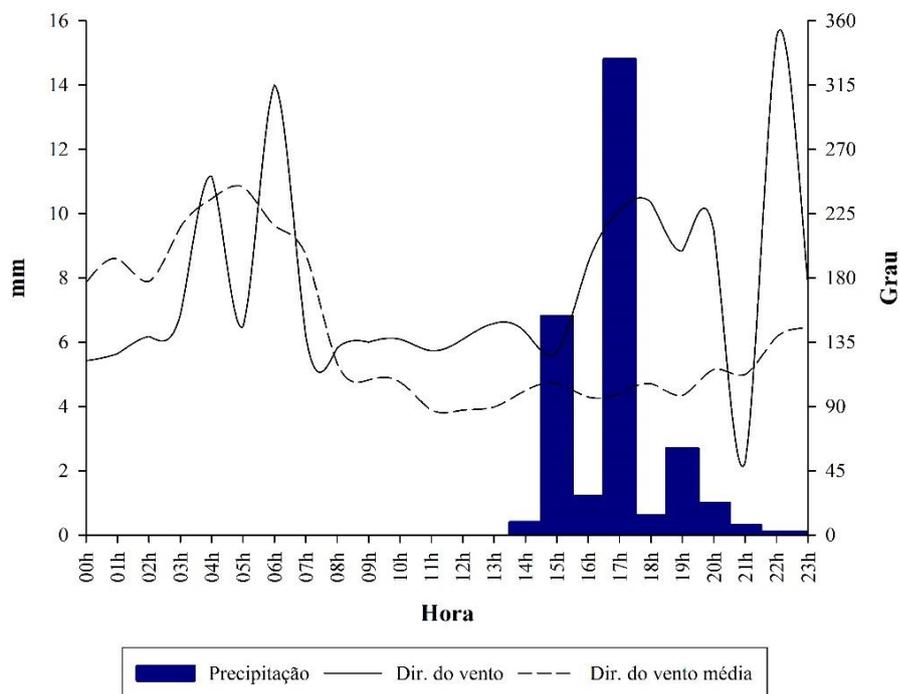
Os valores de umidade relativa do ar não apresentaram grandes distorções durante o evento, os dados estiveram próximos das médias (**Figura 108**). A UFPE apresentou umidade de 91,3 %, 14,3 % maior que a média. Em Boa Viagem a diferença foi ainda menor. Boa Viagem apresentou apenas 3,3 % mais umidade que a média de 79 % às 17:00h.

A microexplosão causou um grande impacto aos dados de temperatura por conta da descida de massa de ar de altos níveis em alta velocidade. Dessa forma, as camadas mais frias da atmosfera chegaram a superfície e foram registradas pelas ECDs.

A temperatura caiu 5,5 °C entre 16:00h e 17:00h na ECD da UFPE, indo de 26,2 °C para 20,7 °C. Situação parecida ocorreu em Boa Viagem, a temperatura diminuiu de 27,3 °C para 22,8 °C (**Figura 109**).

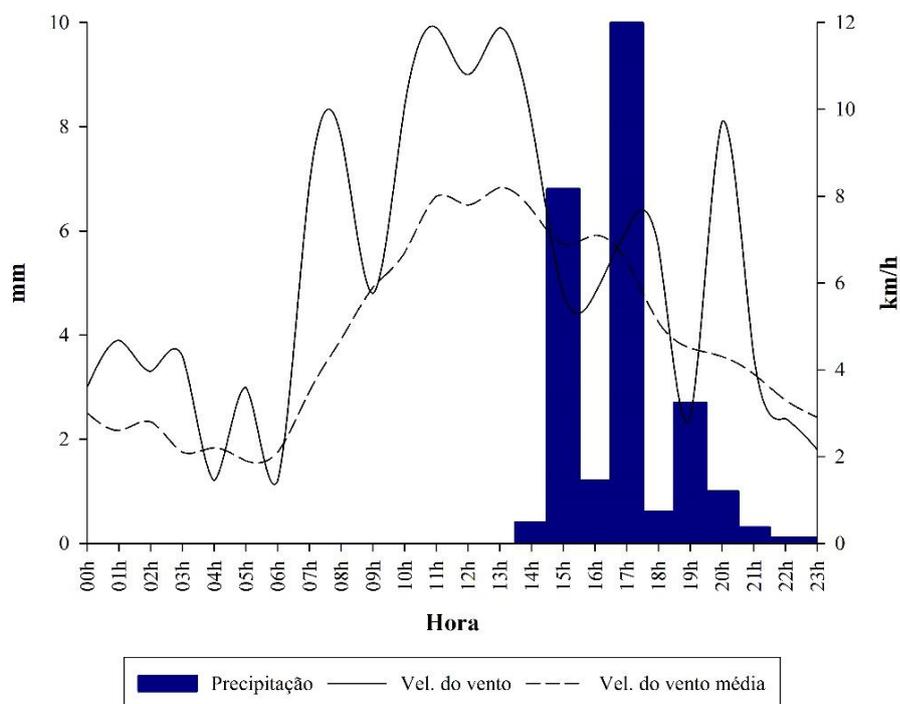
O ITU seguiu os dados de temperatura e também despencou nas ECDs. A UFPE apresentou índice 6,3 menor que a média para as 17:00h. Boa Viagem apresentou diferença de 4,8 no índice (**Figura 110**).

**Figura 105** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro na direção do vento.



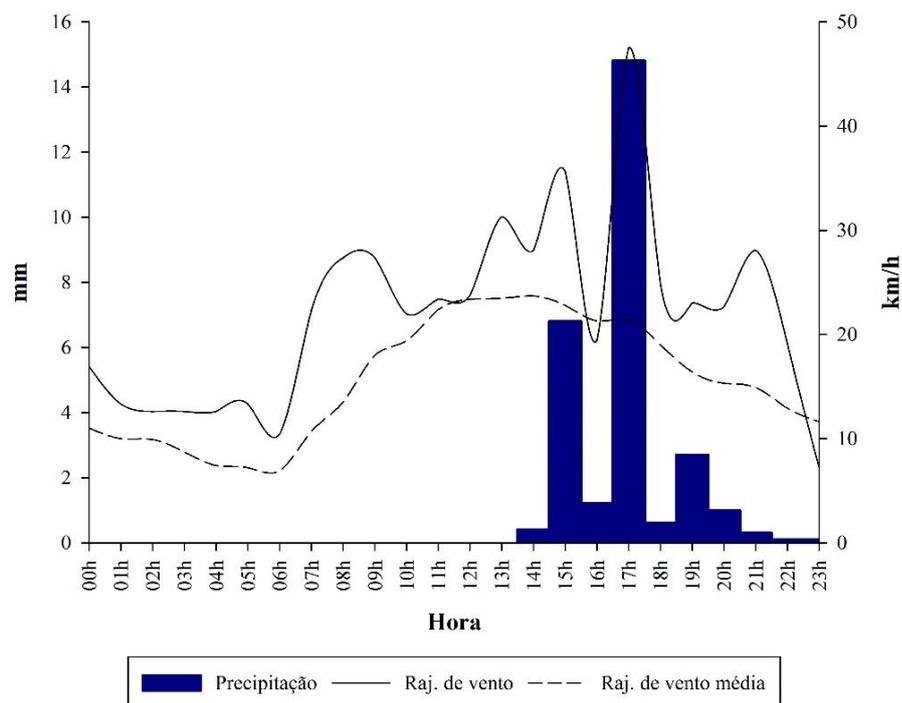
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 106** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro na velocidade do vento.



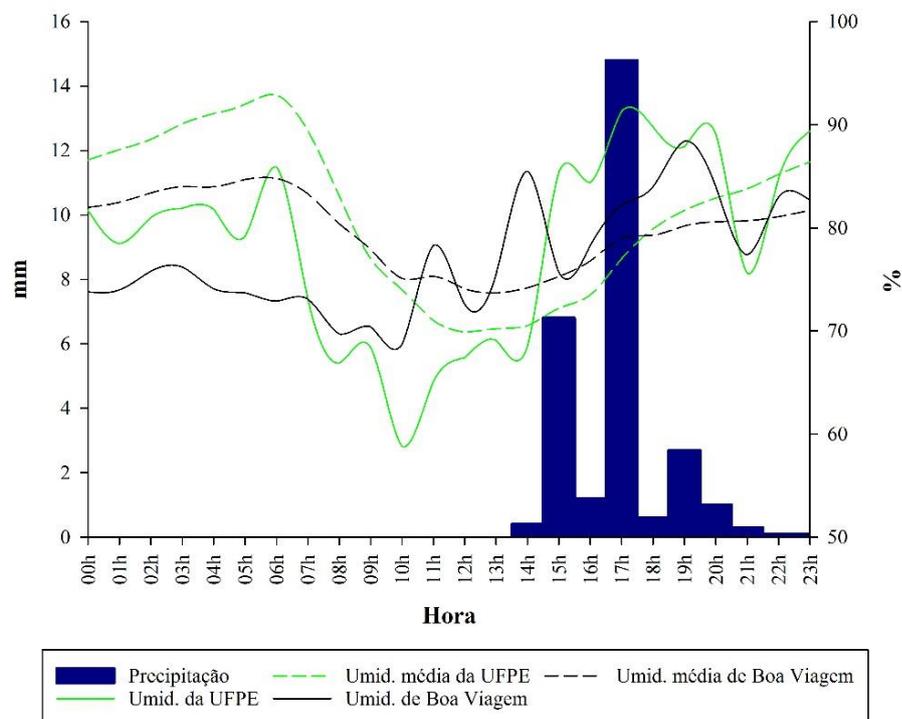
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 107** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro nas rajadas de vento.



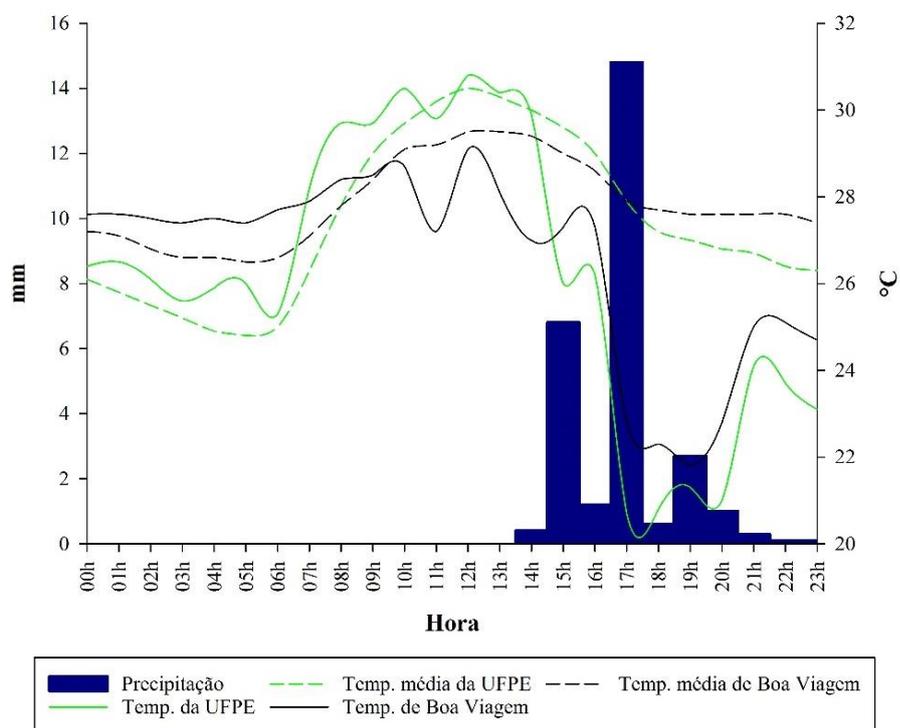
Fonte – INMET e CEMADEN, organizado por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 108** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro na umidade relativa do ar.



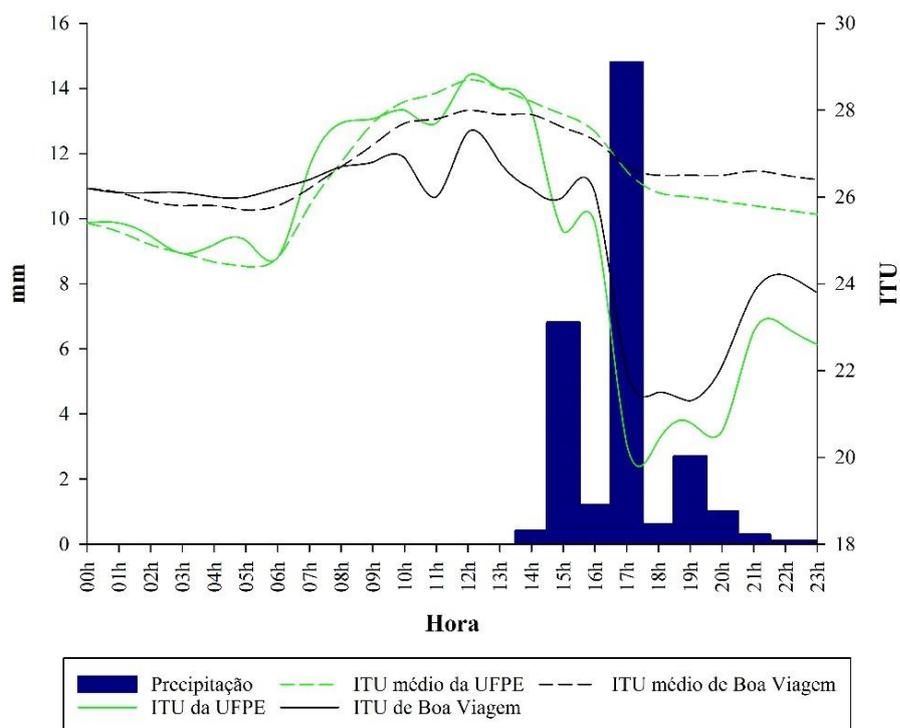
Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 109** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro na temperatura do ar.



Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

**Figura 110** - Repercussões do evento climático do dia 29 de janeiro no índice de temperatura e umidade.



Fonte – CEMADEN e Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

### 3.8 ZONEAMENTO MICROCLIMÁTICO URBANO PARA A CIDADE DO RECIFE

Classificar o clima a partir dos resultados obtidos foi um desafio. O maior deles era como computar as vertentes antrópicas dentro da análise urbano climática. A tentativa foi estabelecer critérios analíticos e empíricos a partir de todos os resultados.

As características ambientais foram importantes fatores. O tipo de solo, por exemplo, é vital na percolação da água. Uma maior entrada de água no solo faz com que a temperatura desse solo diminua com a evaporação da água nos períodos quentes. A formação do relevo, tanto geomorfológico quanto o antrópico, são importantíssimos para entender quando uma ECD estava sob efeito direto dos ventos ou radiação solar.

Os ventos se mostraram vitais nos resultados, a dinâmica das direções ficou evidente quando a estação da Tamarineira se mostra mais confortável com o vento Leste; A ECD do Barro se destaca com menor desconforto quando o vento migra para Sudeste; e a variação diária termina com a UFRPE apresentando os menores índices durante a madrugada, com domínio médio de Sudoeste para os ventos.

“São de duas ordens as influências dos ventos sobre as condições térmicas do corpo dêsse “homeotermo de pele nua”, que é o homem: duma parte, altera o *quantum* calorífico que o ar subtrai ou acrescenta ao corpo, por contacto; doutra, estimula a evaporação cutânea, porquanto a evaporação aumenta proporcionalmente à velocidade do vento” (ANDRADE, 1952, p. 13)

A avaliação socioeconômica não poderia ficar de fora dos critérios. É necessário entender que o uso do solo nas áreas faz com que as populações sejam mais ou menos afetadas com os efeitos do desconforto térmico provocado pelas diferentes paisagens urbanas.

Durante o dia o setor litorâneo e os canais dos rios levam umidade e ventos para diminuir as temperaturas das suas áreas de influência. A barreira antrópica formada pela morfologia urbana se coloca como Barreira aos ventos úmidos provenientes do oceano e as estações ao Oeste se destacam pelo calor durante o dia, mesmo as de menor densidade urbana.

Porém, é necessário entender que as áreas ao Oeste são em grande parte de moradias, e que a maioria dos postos de trabalho ficam ao leste da cidade, onde está a concentração financeira. Durante a noite os índices diminuem mais rápido no Oeste, justamente quando a população retorna do trabalho.

Levando em consideração todos esses fatores, ambientais e socioeconômicos é que as classes foram construídas. É aí que se colocou a empiria da análise. Não há como computar exatamente essa relação.

O que temos são os dados socioeconômicos, climáticos e ambientais. A junção deles a partir da experiência científica que esse trabalho se tornou foi o que gerou os resultados publicados na **figura 111**.

As áreas confortáveis dominaram o setor Norte, Oeste e parte do Setor Sudoeste da cidade. A estação da UFRPE está contida nessa área.

Mesmo apresentando altas temperaturas durante o dia, o campus universitário, de acordo com suas características de uso, não retira o status de conforto. As salas de aulas e prédios com temperatura condicionada, a arborização e a livre escolha das roupas reduzem o desconforto térmico levado à escala individual.

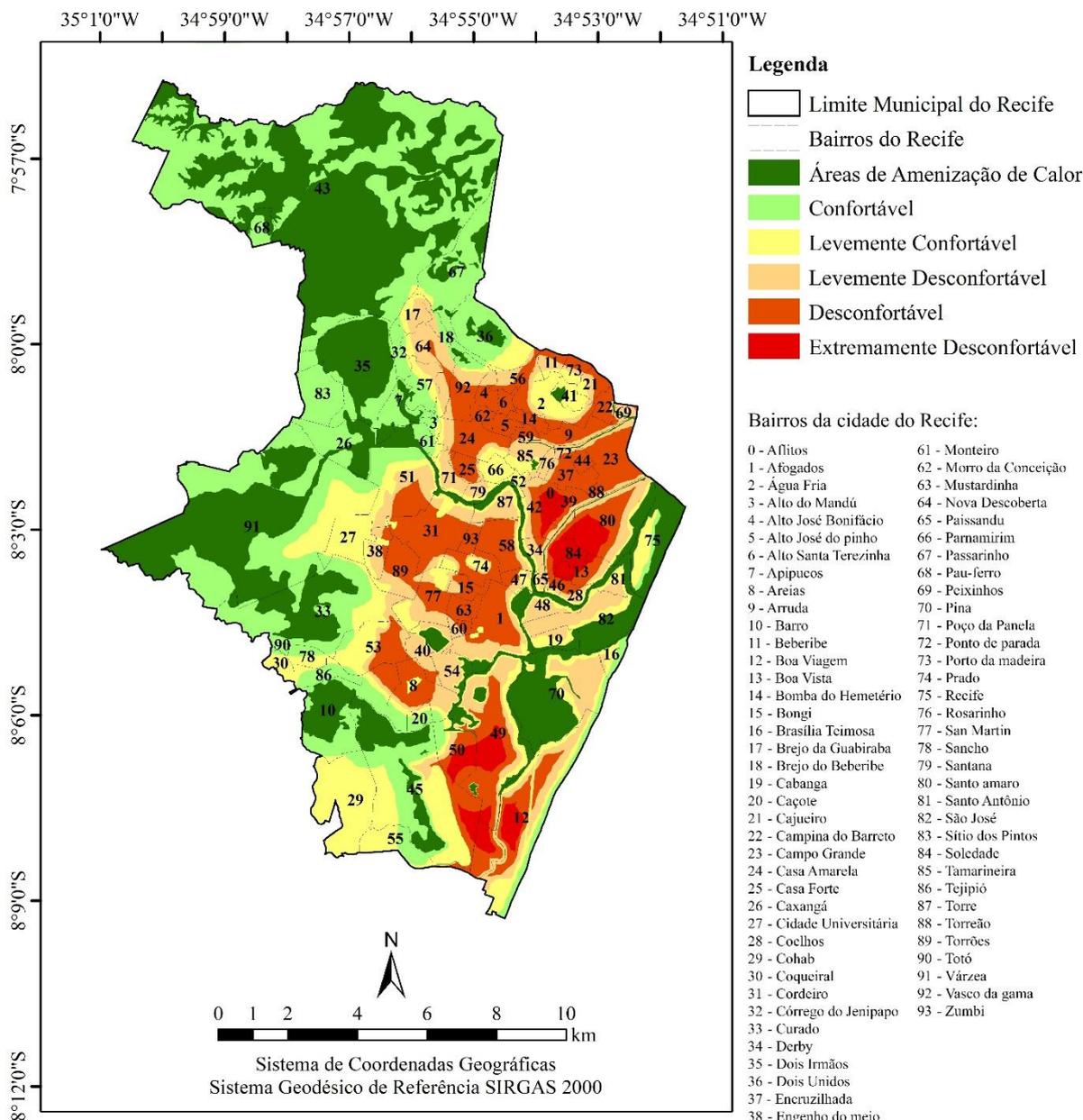
As áreas levemente confortáveis estão nas bordas das áreas confortáveis e dominam a divisão entre a massa urbana ao Leste e Sudeste da cidade com o setor Norte e Oeste.

As estações que estão contidas nas áreas levemente desconfortáveis são justamente aquelas que apresentaram baixos índices ao longo da manhã e da tarde. Estações localizadas dentro da massa urbana mais densa, porém com grande influência dos corpos d'água. São elas a Tamarineira e Boa Viagem.

Campo Grande exemplificou as áreas desconfortáveis, a estação manteve um certo padrão climático entre os períodos do dia, sempre se destacando com índice desconfortável independente da atuação de elementos como a mudança na direção dos ventos.

As áreas definidas como extremamente desconfortáveis estão no entorno das ECDs do IPSEP e Boa Vista, essas duas áreas apresentaram os maiores valores médios de desconforto térmico ambiental. IPSEP foi o destaque maior no trabalho.

**Figura 111 - Zoneamento microclimático para a cidade do Recife-PE.**



Produzido por Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

Apoio:

Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE);  
Grupo de Estudos em Climatologia Tropical e Eventos Extremos (TROPOCLIMA);  
Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEO-UFPE).



Fonte – Pedro Felipe Cavalcanti dos Santos.

## 4 CONCLUSÕES

É possível afirmar que as ilhas de calor e as áreas de maior desconforto térmico na cidade do Recife foram reconhecidas. As estações da Boa Vista e IPSEP foram os exemplos maiores dessas áreas.

A amplitude térmica, apesar de caracterizar as áreas, não foi de grande destaque. Não foram obtidas grandes diferenças de temperatura entre as ECDs. Será necessário que seja instalada uma ECD no extremo Oeste da cidade nos próximos trabalhos realizados na cidade do Recife. A estação poderá responder com uma maior diferença térmica, pois estaria fora do perímetro urbano.

Outros importantes locais para instalação de aparelhos é a linha litorânea e o extremo Norte dos limites territoriais da cidade. Dessa forma seria ainda melhor entendida as dinâmicas entre as temperaturas e os elementos do clima.

Tivemos entendimento de como os sistemas que causam chuva atuam nas temperaturas e umidade da cidade e de como os ambientes respondem a esses eventos. É importante que em estudos futuros sejam trabalhados um intervalo ainda maior de dados, para que dessa forma as temperaturas e umidades sejam entendidas de forma mais completa nos períodos secos e chuvosos.

A cidade do Recife é uma cidade que traz um certo nível de desconforto natural, isso ficou evidente. Apesar de que o desenvolvimento de índices como o ITU não serem feitos levando em consideração o clima tropical, o que tornaria certos resultados considerados desconfortáveis mais amenos pela resposta cultural e adaptativa da população aos seus efeitos.

Entre os elementos do clima responsáveis pela formação do clima local, a dinâmica dos ventos são o grande destaque para entendermos o desconforto térmico na cidade. Seu entendimento pode auxiliar na produção de um espaço que valorize essa dinâmica na construção de uma cidade mais saudável.

A classificação microclimática urbana proposta ainda precisa ser evoluída. Por se tratar de algo nunca proposto e pelas limitações técnicas e científicas, os resultados são importantes e podem ser utilizados no visando um melhor planejamento urbano.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, Isabel Pinto. *A segregação como conteúdo da produção do espaço urbano*. In: VASCONCELOS, PEDRO DE ALMEIDA; CORRÊA, ROBERTO LOBATO; PINTAUDI, SILVANA MARIA (Org.). *A cidade contemporânea: segregação espacial*. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2013. p. 111–126.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA - ABEP. *Crítério Brasil 2015*. Disponível em: <<http://www.abep.org/criterio-brasil>>. Acesso em 10/01/2018.
- AYRES, M.; AYRES JR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.S. *BioEstat*. Versão 5.0, Sociedade Civil Mamirauá, MCT – CNPq, Belém, Pará, Brasil, 1998.
- ANDRADE, Gilberto Osório De. *Ares e ventos do Recife*. Recife: Faculdade de filosofia de Pernambuco, 1952.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. *Clima e cidade: a abordagem climática como subsídios*. Maceió: EDUFAL, 2007.
- BITOUN, Jan. *Impactos socioambientais e desigualdade social: vivências diferenciadas frente à mediocridade das condições de infraestrutura da cidade do Recife*. In: MENDONÇA, FRANCISCO (Org.). *Impactos socioambientais urbanos*. Curitiba: UFPR, 2004. p. 255–270.
- CARLOS, Ana Fani Alessandri. *Da “organização” à “produção” do espaço no movimento do pensamento geográfico*. In: CARLOS, ANA FANI ALESSANDRI; SOUZA, MARCELO LOPES DE; SPOSITO, MARIA ENCARNAÇÃO BELTRÃO (Org.). *A produção do espaço urbano: agentes e processos, escalas e desafios*. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2013. p. 53–74.
- CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et al. *Tempo e clima no Brasil* 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS - CEMADEN. *Dados pluviométricos*. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/>>. Acesso em: 9 maio 2017.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: HUCITEC, 1979.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO - COMPESA. *Ortofotografia da cidade do Recife*. Unidade de cartografia. Acesso em julho de 2017. Disponibilizado pela autarquia.

CORRÊA, Antônio Carlos De Barros. *Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano*. Revista de Geografia, v. 23, n. 1, 2006. p. 86–105.

CORRÊA, Antonio Carlos De Barros. *Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano*. Revista de Geografia, v. 23, n. 1, 2006. p. 86–105.

CORRÊA, Roberto Lobato. *Sobre agentes sociais, escala e produção do espaço: um texto para discussão*. In: CARLOS, ANA FANI ALESSANDRI; SOUZA, MARCELO LOPES DE; SPOSITO, MARIA ENCARNAÇÃO BELTRÃO (Org.). . A produção do espaço urbano: agentes e processos, escalas e desafios. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2013. p. 41–52.

EMMANUEL, R. M. *Na Urban Approach to Climate- Sensitive design: Strategies for the Tropics*. 1º Ed. USA, Spon Press, 161p, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE*. Recife, Embrapa Solos – UEP Recife. II. 1CD Rom. 2004.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. *Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r)*. Revista Política Hoje, Vol. 18, n.1, 2009. p. 115 - 146.

FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R. *Manual de Conforto Térmico*. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel. São Paulo: Studio Nobel, 243p, 2001.

G1. *Temporal deixou saldo de 173 quedas de árvores, 55 acidentes e uma morte*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2016/01/temporal-deixou-saldo-de-173-quedas-de-arvores-55-acidentes-e-uma-morte.html>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

GAN, M. A. *Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil*. 1983. 80 f. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1983.

GARTLAND, Lisa. *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em 10/01/2018.

GOMES, Edvânia Torres Aguiar. *Recortes de paisagens na cidade do Recife : uma abordagem geográfica*. Recife: Massangana, 2007.

GOMES, Edvânia Torres Aguiar; ALBUQUERQUE, Mariana Zerbone Alves. *A Via Mangue no processo de produção do espaço da cidade do Recife*. X Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia, 2013. p. 1–10.

HOLMER, Björn; THORSSON, Sofia. *Intra-urban nocturnal cooling—A comparison of high-latitude Göteborg, Sweden and Tropical Ouagadougou, Burkina Faso*. The seventh International Conference on, n. July, 2009. p. 3–6.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. *Normais climatológicas*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 15 set. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. *Estação meteorológica de observação de superfície automática*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 15 set. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. *Divisão de satélites e sistemas Ambientais*. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/home/novoSite/index.jsp>>. Acesso em: 1 dez. 2016.

LAMBERTS, Roberto; XAVIER, Antônio Augusto de Paula; GOULART, Solange. *Conforto e stress térmico*. UFSC, 108p, 2008.

LEFEBVRE, Henri. *A revolução urbana*. Tradução Sérgio Martins. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1999.

MELO, Mário Lacerda De. *As migrações para o Recife, I: estudo geográfico*. Recife: Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais, 1961.

MENDONÇA, Francisco.; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. *Climatologia : noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, Sergio de Oliveira. *Uma revisão das chuvas no Nordeste Brasileiro*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n. 1, 2002. p. 1–10.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *A Interação homem-natureza no futuro da cidade*. In: BECKER, B. K. et al. (Org.). . Geografia e Meio Ambiente no Brasil. 2. ed. São Paulo - Rio de Janeiro: HUCITEC, 1995. p. 371–396.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas*. Perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. Raega - O Espaço Geográfico em Análise, v. 5, n. 1, 2010.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *Teoria e clima urbano*. São Paulo: Instituto de Geografia, 1976.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *Teoria e clima urbano*. In: MONTEIRO, CARLOS AUGUSTO DE FIGUEIREDO; MENDONÇA, FRANCISCO ASSIS (Org.). . Clima Urbano. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011. p. 9–68.

MOREIRA, Ayobami Badiru; DOS SANTOS, Pedro Felipe Cavalcanti; SOARES, Deivide Benicio; NÓBREGA, Ranyére Silva. *Eventos extremos e a cidade: estudo de caso dos Impactos causados por um evento climático em área urbana*. Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.06 (2017) 1730-1745.

MOREIRA, EBM; GALVÍNCIO, JD. *Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM–LANDSAT 7*. Revista de Geografia (Recife), v. 24, n. 3, 2007. p. 101–115.

MOREIRA, Elvis Bergue Mariz; NÓBREGA, Ranyére Silva; SILVA, Bernardo Barbosa Da. *Fluxo de calor sensível através de imagens digitais do tm landsat 5*. Revista de Geografia (UFPE), v. 30, n. 2, 2013. p. 153–168.

NÓBREGA, Ranyére Silva; FARIAS, Rafael Fhelipe de Lima. *Eventos extremos pluviais*

*em Jaboatão dos Guararapes : climatologia e estudo de caso*. Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo, v. Volume esp, 2016. p. 70–82.

NÓBREGA, Ranyére Silva; LEMOS, Thiago Verçosa da Silva. *O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife*. Revista de Geografia, v. 28, n. 1, 2011. p. 93–109.

NÓBREGA, Ranyére Silva; SANTIAGO, Gabriela Ayane Chagas Felipe. *Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco*. Revista Mercator, v. 13, n. 1, 2014. p. 107 a 118.

NÓBREGA, Ranyére Silva; DOS SANTOS, Pedro Felipe Cavalcanti; MOREIRA, Elvis Bergue Mariz. *Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife-PE: distribuição espacial e intensidade*. Revista de Geografia (UFPE), v. 33, n. 4, 2016. p. 319–333.

NÓBREGA, Ranyére Silva; VITAL, Luis Augusto de Bakker. *Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de Ilha de calor*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 3, n. 3, 2010. p. 151–156.

OFFERLE, Brian et al. *Intraurban differences of surface energy fluxes in a central european city*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, v. 45, n. 1, p. 125–136, 1 jan. 2006.

OKE, T. R. *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. World Meteorological Organization, n. 81, p. 51, 2004.

PASCUAL, L. P. *Modelización dinámica del microburst – aplicación a la aeronáutica*. 1995. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1995.

RIBEIRO, Carlos Alberto de Mendonça. *Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de João Pessoa - Paraíba*. 2013. 158 f. Universidade Federal da Paraíba, 2013.

SOUCH, Catherine; GRIMMOND, Sue. *Applied climatology: urban climate*. Progress in Physical Geography, v. 30, n. 2, p. 270–279, 19 abr. 2006.

TAHA, Haider. *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*. Energy and Buildings, v. 25, n. 2, jan. 1997. p. 99–103.

TEIXEIRA, Raul Fritz Bechtel. *O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, n. 3, 2008. p. 282–291.

UNITED NATIONS - UNO. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/>>. Acesso em: 1 dez. 2016.

VASCONCELOS, L. C. S.; ZAMPARONI, C. A. G. P.. *Análise do microclima em Cuiabá-MT: um estudo de caso nos bairros Duque de Caxias e dos Bandeirantes*. GEOAMBIENTE, Jataí-GO, n. 16, jan./jun. 2011. p. 16-33.

VIANA, Simone Scatolon Menotti. *O conforto térmico nas escolas estaduais de presidente prudente/SP*. In: AMORIM, MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE; SANT'ANNA NETO, JOÃO LIMA; MONTEIRO, ANA (Org.). . Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 221–245.

ZANELA, M. E.; MOURA, M. O. *O clima das cidades do Nordeste brasileiro: contribuições no planejamento e gestão urbana*. Revista da ANPEGE, v. 9, n. 11, jan./jun. 2013. p. 75-89.