BIOCLIMATOLOGIA E PLANEJAMENTO URBANO: ELABORAÇÃO DE MAPA DE POTENCIAL DINÂMICO DA CIDADE DE ARAPIRACA–AL

Marcos Antônio da Silva Lima (1); Júlio Cesar dos Santos (2); Maria Cleisyane Moura Barbosa (3); Simone Carnaúba Torres (4), Thiago Alberto da Silva Pereira (5)
(1) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, marcos.lima@arapiraca.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca;
(2) Mestre, Arquiteto e Urbanista, Pesquisador Colaborador da Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, juliosantosurb@gmail.com;
(3) Graduanda do Curso de Arquitetura e Urbanismo, maria.cleisyane@arapiraca.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca;
(4) Doutora, Arquiteta e Urbanista, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, simone.torres@arapiraca.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca;
(5) Doutor, Engenheiro Civil, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo, thiago.alberto@delmiro.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Av. Manoel Severino Barbosa – Bom Sucesso, Arapiraca – AL, 57309-005, (82) 98152-8853

RESUMO
O processo de mitigação de alterações climáticas no ambiente urbano deve ser desenvolvido a partir de instrumentos vinculados ao planejamento urbano, como o Mapa Analítico Climático. O objetivo deste trabalho foi elaborar um Mapa do Potencial Dinâmico da estrutura urbana da cidade de Arapiraca-AL, considerando a ocupação do solo e fatores de amenização térmica como massas d'água e declividade topográfica para subsidiar a construção do mapa analítico climático local. Foi adotada a abordagem quali-quantitativa, utilizando-se o método de análise multicritério, aplicado à análise espacial, através do software *QGis.* Os procedimentos metodológicos adotados foram: a) elaboração de mapa de ocupação de solo-porosidade da malha urbana; b) elaboração de mapa de proximidades massas d'água; c) elaboração de mapa de declividades/topografia e d) monitoramento microclimático para verificação de tendências e diferenciações no desempenho climático de frações urbanas. Como resultado, o mapa de potencial dinâmico mostrou que Arapiraca possui uma estrutura urbana de baixa capacidade de amenização no bairro do Centro e em bairros circunvizinhos devido à alta taxa de ocupação do solo urbano e à pouca presença de corpos d'água. Porém, nos bairros periféricos há uma predominância de áreas com alto potencial para aproveitamento da ventilação, evidenciando a necessidade de aplicação de estratégias bioclimáticas no processo de planejamento e desenho urbano, através da revisão da legislação urbanística local para adequação ambiental no processo de ocupação territorial local.

Palavras-chave: mapa climático; clima urbano; planejamento urbano; Arapiraca.

ABSTRACT
The reduction of climate change in the urban environment should be studied using instruments linked to urban planning, such as the Urban Climatic Analysis Map. The objective of this work was to elaborate the Dynamic Potential Map of the Arapiraca-AL, considering the ground coverage and thermal mitigation factors such as water masses and topographic slope to subsidize the construction of the local Urban Climatic Analysis Map. A multicriteria analysis method was adopted for spatial analysis using the QGis software. The methodologies adopted were: a) elaboration of a soil occupation-porosity map of the urban site; b) elaboration of a map of the proximity of water elements; c) elaboration of a map of slopes/topography and d) microclimate monitoring to verify trends and differences in the climatic performance of urban fractions. As a result, the dynamic potential map showed that Arapiraca has an urban structure with low thermal mitigation capacity in the Centro neighborhood and surrounding neighborhoods due to the high rate of occupation of urban land and few body of water. However, in the peripheral neighborhoods there is a predominance of areas with high potential for using ventilation, highlighting the need to apply bioclimatic strategies in the urban planning and design process, through the review of local urban legislation for environmental adequacy in the process of local territorial occupation.

Keywords: urban climatic map, urban climatic, planning and urban design, Arapiraca.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, tem sido destacada a importância da adequação climática de conjuntos edificados urbanos, a partir do uso de estratégias bioclimáticas que potencializam a adoção de recursos naturais para a climatização e, consequentemente, contribuem para a melhoria da qualidade ambiental urbana. Assim, o processo de mitigação de alterações climáticas no ambiente urbano deve ser desenvolvido a partir de instrumentos vinculados ao planejamento urbano.

O mapa climático constitui um importante exemplo de ferramenta de informação e análise que considera fatores bioclimáticos e de planejamento urbano, representados cartograficamente e que podem ser avaliados e aplicados no planejamento com o auxílio de mapas temáticos. O Mapa climático urbano é fundamentado em dois tipos de mapas distintos: o mapa climático urbano analítico (urban climatic analysis map — UCAnMap), que é um mapa sintético de funções climáticas e o mapa climático de recomendações para o planejamento (urban climatic planning recommendation map — UC-ReMap) (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2017; REN; NG; KATZSCHNER, 2011).

O Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana (GATU) da Universidade Federal de Alagoas tem se dedicado à realização de pesquisas para o reconhecimento das particularidades climáticas de cidades do litoral e do semiárido alagoano. Especificamente na cidade de Arapiraca-AL, a segunda maior do estado, foram realizadas nos últimos anos, diversas campanhas de coletas de dados microclimáticos para compreensão do desempenho climático de tecidos urbanos caracterizados por diferentes padrões morfológicos e diferentes índices de densidade construtiva. Objetivando avançar nos processos investigativos sobre o clima urbano local, optou-se pelo desenvolvimento de estudos para a elaboração do Mapa Climático Analítico da cidade de Arapiraca. Para isso, foram adotados procedimentos considerando adaptações da metodologia utilizada por Ribeiro (2013). Esta metodologia é fundamentada na análise de fatores climáticos que afetam a *carga térmica* urbana (capacidade de ganho de calor de tecidos urbanos) e *potencial dinâmico* (capacidade de ventilação), fatores estes que têm influência no conforto térmico humano e que, também, foram considerados na elaboração do mapa climático de Hong Kong publicado pelo Departamento de Arquitetura da CUHK em 2008.

No presente artigo, serão socializados os resultados correspondentes à elaboração do *Mapa de Potencial Dinâmico* do sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL. O potencial dinâmico é uma categoria de análise do sítio urbano baseada na avaliação da rugosidade do solo que apresenta influência na disponibilidade de ventilação e no processo de trocas térmicas a partir de inserção dos ventos na malha urbana. Entende-se que o potencial dinâmico depende, principalmente, da taxa de ocupação do solo, da proximidade de corpos d'água, da proximidade de espaços abertos e da declividade topográfica. A pesquisa desenvolvida em Arapiraca contempla ainda a elaboração do *Mapa de Carga Térmica*, fundamentado nos mapas temáticos de *Volume Edificado Urbano* e de *Densidade Arbórea*, que foram adotados, em conjunto com o mapa de *Potencial Dinâmico*, na confecção do *Mapa Climático Urbano Análitico de Arapiraca*. O conteúdo deste artigo contempla o enfoque sistemático dos procedimentos e e análises referentes à confecção do *Mapa de Potencial Dinâmico.*

2. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi elaborar *Mapa Climático do Potencial Dinâmico* da estrutura urbana da cidade de Arapiraca-AL, considerando a ocupação do solo e fatores de amenização térmica como porosidade da malha urbana, massas d'água e declividade topográfica para subsidiar a construção do mapa analítico climático local.

3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE ARAPIRACA-AL

A cidade de Arapiraca, localizada na região central do estado de Alagoas, pertencente a mesorregião do Agreste, transição entre a costa úmida e o semiárido do nordeste brasileiro, situa-se na latitude 9°75'25'' sul e longitude 36°60'11'' oeste, a 132 km de distância da capital Maceió. De acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), para o ano de 2021, a cidade apresenta cerca de 234.309 habitantes, distribuídos num território de aproximadamente 345,655 km² de área. Segundo Silva (2019) e Torres (2017) o clima de Arapiraca contempla dois períodos distintos:

- **Período quente e seco** (outubro a abril): Caracterizado pelo registro de temperaturas do ar elevadas (valores médios mensais acima de 25 °C, podendo alcançar valores máximos absolutos acima de 36°C), baixa umidade relativa do ar (valores médios mensais abaixo de 80% e valores mínimos absolutos abaixo de 40%), amplitude térmica diária acima de 10 °C e baixa pluviosidade (valores mensais médios abaixo dos 100 mm, com mínima de 0 mm e máxima de 226,2 mm);

- **Período quente e úmido** (maio a setembro): Caracterizado por temperaturas do ar amenas (valores médios mensais abaixo de 25°C e mínimas absolutas de aproximadamente 17°C), umidade relativa do ar alta (valores médios mensais acima de 85%), baixa amplitude térmica diária (abaixo de 10°C e mínima de 6,6°C) e alta pluviosidade (valores mensais acima de 100 mm podendo alcançar máxima de 226,2 mm).

Os ventos predominantes na localidade são provenientes da direção leste mais frequentes nos meses do período quente e seco, já no período quente e úmido a direção predominante dos ventos é a sudeste (SILVA, 2019).

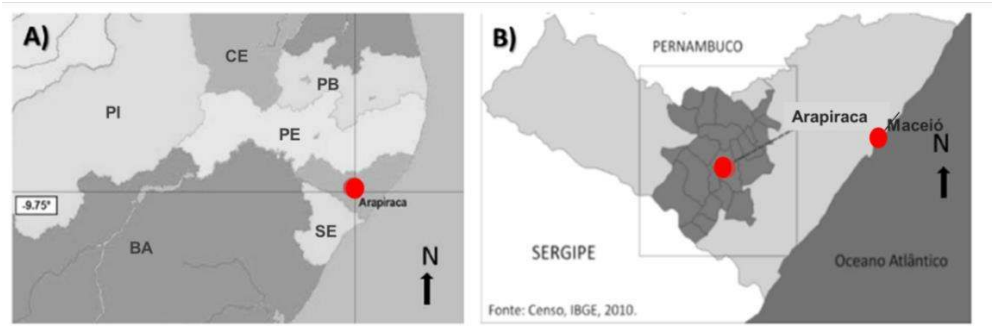


Figura 1- Localização do município de Arapiraca no nordeste brasileiro (A), situação geográfica no Estado de Alagoas - região Agreste (B). Fonte: adaptado IBGE (2010).

Devido à ausência de definição dos parâmetros urbanísticos de ocupação do solo urbano na legislação urbanística local, a cidade vivencia hoje uma situação de vulnerabilidade quanto aos impactos climáticos decorrentes dos padrões construtivos urbanos predominantes (padrão horizontal denso geminado). Esta realidade assemelha-se à encontrada na maioria das cidades de pequeno e médio porte no cenário brasileiro, principalmente na região nordeste.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi baseado na abordagem quali-quantitativa, utilizando-se o método de análise multicritério, aplicado à análise espacial. Foi utilizado o software *QGis,* um sistema de informação geográfica (SIG), livre e aberto, para avaliação integrada do uso do solo do sítio urbano de Arapiraca-AL, para a identificação de *climatopos*, que correspondem à áreas geográficas com características microclimáticas similares. Desta forma, foi realizada uma classificação dos climatopos baseada na análise das informações sobre o potencial dinâmico utilizando algoritmos de álgebra de mapa. Para desenvolvimento da análise empírica, considerando o atual padrão de ocupação territorial urbana da cidade, foram utilizados os dados do cadastro multifinalitário da Prefeitura Municipal de Arapiraca e o mapa de base digital geoprocessada referente à malha de lotes de áreas georreferenciadas (incluindo os campos de área construída e gabaritos).

Para elaboração do mapa de análise de **potencial dinâmico** foram confeccionadas as seguintes camadas, considerando adaptações na metodologia proposta por Ribeiro (2013), conforme a Figura 2.

4.1 Elaboração do Mapa de Ocupação do solo – Porosidade da Malha

A porosidade da malha urbana é expressa pela relação entre espaços abertos e espaços edificados, correspondendo ao espaçamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos, sendo um índice de fragmentação das áreas construídas que confere maior ou menor permeabilidade aos ventos do tecido urbano. Para a elaboração deste mapa foram utilizados os dados correspondentes à projeção das edificações no lote (perímetro) para o cálculo de taxa de ocupação.

A partir disso, foram identificados os espaços livres da malha urbana. Quanto maior a taxa de ocupação, menor será a taxa de permeabilidade aos ventos e, portanto, maior a taxa de acúmulo de calor na estrutura urbana. Desta forma, foi adotada no *Qgis,* a malha quadricular de 100m x 100 m e realizado o cálculo de cobertura do sólido por quadrícula para descrição dos percentuais de porosidade da malha urbana, a partir da identificação de 3 classes, e valorização, atendendo ao critério de quanto maior a taxa de ocupação de solo, menor o valor de potencial dinâmico:

a) para os valores de taxa de ocupação entre 0 a 30% foi atribuído peso -2 (potencial de ventilação alto);
b) para os valores de taxa de ocupação entre 30% a 50% foi atribuído peso -1 (potencial de ventilação médio)
c) para os valores de taxa de ocupação acima de 50% foi atribuído peso 0 (baixo potencial de ventilação).

4.2 Elaboração do Mapa de Proximidades

A sobreposição da subcamada *Mapa de Massas d'água* e a subcamada *Mapa de Declividades* definiu o padrão da camada referente ao *Mapa de Proximidades* a partir da combinação dos valores atribuídos para as classes representadas em cada subcamada:

- **Mapa de Proximidade de massas d'água:** Áreas urbanas que apresentam proximidade de massas de água são beneficiadas microclimaticamente pelo favorecimento da circulação dos ventos e a amenização de temperatura e o aumento da umidade, permitindo maior equilíbrio térmico. Para elaboração deste mapa foram utilizadas dados georreferenciados de corpos d'água no sítio urbano de Arapiraca. Foi adotada a resolução de 100 m x 100 m e a valorização de classes de acordo com o Departamento de Arquitetura, CUHK (2008): a) para os valores de distância em relação a corpos d'água entre 0 e 70 m foi atribuído peso -2; b) para os valores de distância em relação a corpos d'água entre 70 m e 140 m foi atribuído peso -1, c) para os valores de distância acima de 140 m não foi atribuído nenhum peso (peso 0).
- **Mapa de declividades/encostas:** Espaços territoriais como encostas com declividade superior a 40% podem atuar beneficamente no clima urbano, pois, representam um indicador de canalização dos ventos a partir da influência da topografia, causando ascensão ou descida das massas de ar. Assim, o ar mais frio tende a se deslocar pelas encostas influenciando na redução da temperatura do ar. A elaboração da camada analítica de descrição de declividade foi baseada em apenas duas classificações: áreas com declividades acima de 40% (com pontuação para amenização térmica igual a -1) e áreas com declividades inferiores a 40% (com pontuação neutra para determinação do mapa final de proximidades).

4.3 Sobreposição das camadas: Mapa de Potencial Dinâmico

Para a variável de proximidade de massas d'água, adquirida da base cartográfica da prefeitura de Arapiraca, inicialmente foram realizados *buffers* de 70 e 140 metros e, para cada uma das poligonais criadas, o polígono resultante foi recortado de acordo com o limite da célula correspondente na malha georreferenciada para a composição da variável de proximidade. Esta estratégia de recorte de acordo com a sobreposição, também, foi utilizada para a criação das variáveis oriundas das camadas de ocupação do solo. Ao fim do processo, todas as variáveis foram unidas à malha utilizando o algoritmo de unir atributos pela localização (*sumerize*) de modo a possibilitar o cálculo da avaliação. A Figura 2 representa graficamente o esquema para o processamento dos dados tratados através do *Qgis*.

Para entendimento da metodologia adotada para elaboração do *Mapa Climática Analítico de Arapiraca*, apresenta-se na Figura 3 o esquema geral reprensativo dos procedimentos adotados através de algebra de mapas, considerando a sobreposição do *Mapa de Potencial Dinâmico* (discutido no presente artigo) e o *Mapa de Carga Térmica*. O *Mapa de Carga Térmica* foi baseado na quantificação de *volume construído* na malha urbana local (como condicionante para acúmulo de calor), sobreposto ao mapa de *Densidade Arbórea* (como condicionante para amenização térmica na escala microclimática, levando em consideração a importância das estratégias bioclimáticas de sombramento e resfriamento evaporativo).

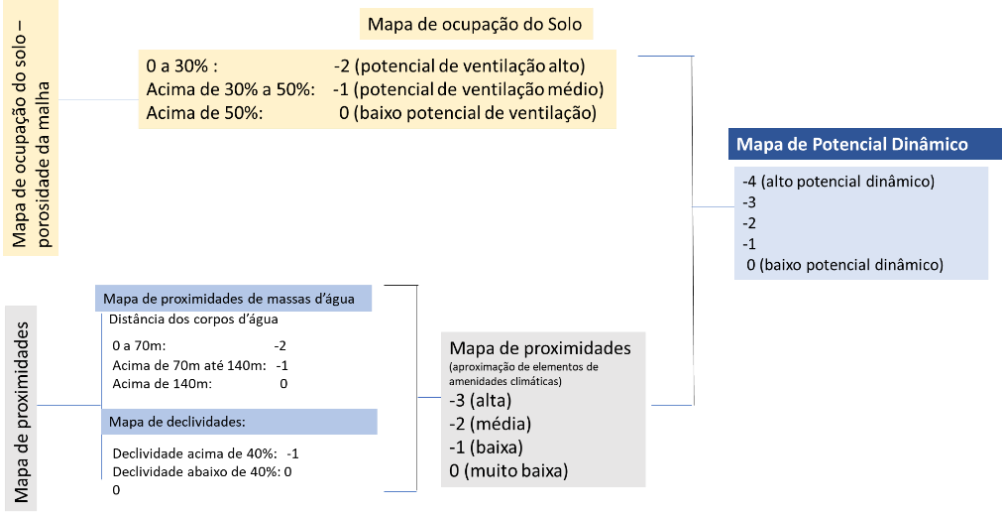


Figura 2 - Esquema representativo dos procedimentos adotados para elaboração do Mapa de Potencial Dinâmico do sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL. Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

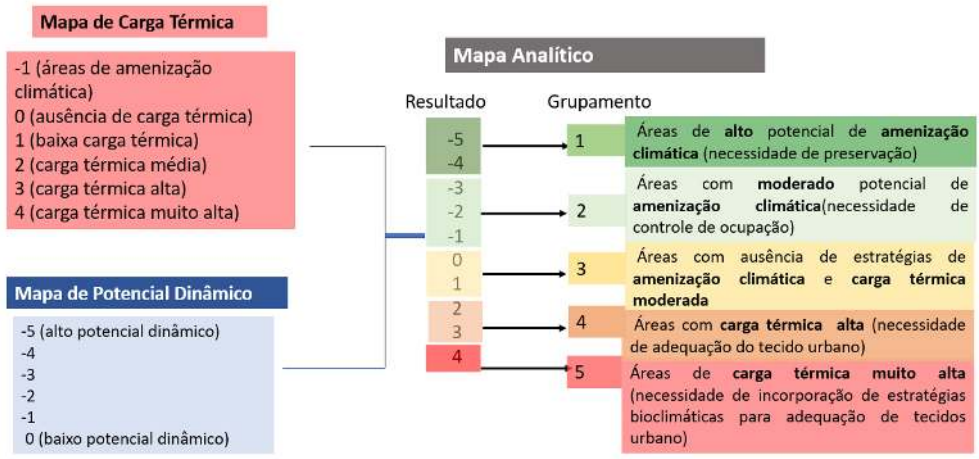


Figura 3- Esquema de sobreposição e classificação do Mapa Climático Analítico de Arapiraca-AL

4.4. Realização de monitoramento microclimático

As metodologias quali-quantitativas para elaboração de um *Mapa Climático Analítico Urbano,* aplicadas em pesquisas no contexto nacional e internacional, são baseadas na consolidação da experiência alemã, fundamentadas na avaliação integrada do uso do solo (incluindo aspectos geográficos) e de dados meteorológicos. Estas avaliações são importantes para a identificação dos *climatopos, ou seja, de áreas* com características microclimáticas similares, que atuam em seu entorno de forma análoga e podem atingir escalas espaciais que variam de dezenas a centenas de metros. Por isso, é importante a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos que podem ser obtidos a partir de estações meteorológicas próximas à área de estudo e ou de dados medidos em campo. Estes dados podem ser utilizados para análises comparativas e de correlação, gerando a classificação dos *climatopos* e entendimento de aspectos físicos que caracterizam o balanço de energia do clima urbano, como a carga térmica e o potencial dinâmico, principalmente. (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2017; REN; NG; KATZSCHNER, 2011; RIBEIRO, 2013).

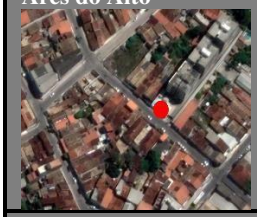
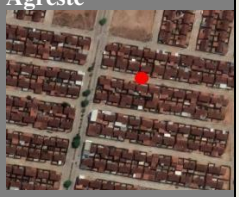
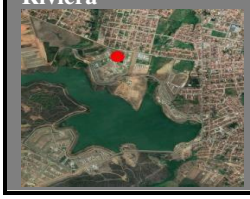
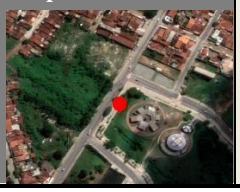
Por isso, o presente estudo contemplou a realização de monitoramento da temperatura do ar e da umidade relativa do ar em espaços livres presentes nos tecidos urbanos de morfologias e densidades construtivas diferenciadas no sítio urbano de cidade de Arapiraca-AL. A coleta de dados horários das variáveis climáticas foi realizada através de *data-loggers* da ONSET do tipo HOBO Pro v2[1] de temperatura e umidade relativa do ar (referência U23-001) que é um coletor de dados para ambientes externos à prova d'água. A coleta de dados contemplou 27 dias, no período de 29/01/2022 a 24/02/2022, que corresponde ao período *quente e seco* conforme o perfil climático da cidade de Arapiraca (SILVA, 2019; TORRES, 2017). Para isso, os equipamentos foram posicionados no interior de dispositivos de proteção contra radiação solar direta e refletida (referência RS1- ONSET), fixados à sombra, em postes de iluminação, a 2,30m de altura (Figura 4). Este monitoramento microclimático objetivou verificar as tendências de diferenciação térmica e de desempenho microclimáticas identificadas no mapa de potencial dinâmico de Arapiraca-AL. Serão apresentados no presente artigo as diferenciações no desempenho climático de quatro tecidos selecionados (Quadro 1).

A)  B)  C) 

Figura 4- Imagem do equipamento utilizado para o monitoramento microclimático em Arapiraca: A) Dispositivo de proteção do sensor; B) Posicionamento do Hobbo ProV2 no interior do dispositivo e proteção e C) Equipamento instalado em poste de iluminação pública. Fonte: Os autores (2022)

[1] Os sensores apresentam precisão correspondente a ± 0,21ºC (a partir de 0ºC a 50ºC) e, para umidade relativa do ar, ± 2,5% (a partir de 10% a 90% (típica).

Quadro 1- Descrição dos tecidos selecionados para o monitoramento microclimático

Tecido 1: Residencial Ares do Alto 	Residencial vertical baixo, localizado no bairro Alto do Cruzeiro (circunvizinho ao centro) representando um tecido de elevada taxa de ocupação do solo (acima de 80%), ou seja, hipoteticamente de baixo potencial para aproveitamento da ventilação natural.	**Tecido 4: Residencial Agreste** 	Residencial horizontal aberto, de alta taxa de ocupação dos lotes (acima de 70%), representa tecidos do padrão de ocupação de habitação de interesse social local. As vias apresentam pavimentação poliédrica e não possuem arborização.
Tecido 2: Residencial Riviera 	Residencial Horizontal Fechado, localizado próximo ao Lago da Perucaba. A ocupação é dispersa (condomínio de ocupação ainda não consolidada) e, por isso, representa um tecido de baixa taxa de ocupação do solo.	**Tecido 5: Bosque das Arapiracas** 	Espaço livre público (praça), caracterizado pelo entorno adensado (edificações de 1 a 2 pavimentos, geminadas) e arborização dispersa. As vias são pavimentadas com asfalto. A arborização presente está espacialmente restrita à área interna do parque.

Fonte: Imagens adaptadas do Google Earth, 2022.

5. RESULTADOS

Um aspecto primordial a ser considerado no planejamento urbano e na concepção de construções é a circulação do ar na cidade, devido a sua importância na sensação de conforto térmico humano e nas condições saúde da população. Porém, o processo de ocupação territorial das cidades tem frequentemente dificultado o aproveitamento dos condicionantes ambientais, principalmente a ventilação natural predominante, resultando na diminuição da velocidade do vento no meio urbano. Para examinar a capacidade e o potencial de aproveitamento da ventilação natural, enquanto estratégia bioclimática na cidade de Arapiraca, foi desenvolvido o *Mapa Analítico de Ocupação do Solo e Porosidade* do sítio urbano (Figura 5A), sendo uma etapa essencial em conjunto com o *Mapa de Proximidades* para elaboração do *Mapa de Potencial Dinâmico*.

No *Mapa de Ocupação de Solo - Porosidade da Malha Urbana* de Arapiraca-AL, foi quantificada a camada de cobertura do solo como critério de porosidade aos ventos e isso se deu em virtude da análise das edificações e suas adjacências. Foram utilizadas cores quentes para retratar a ocupação do solo: o amarelo compreende as menores taxas de ocupação de solo identificadas, o laranja representa a taxa de ocupação média e o vermelho a alta taxa de ocupação. Assim, foram atribuídos valores percentuais de 0 a 30%, 30 a 50% e >50%, que denotam potencial de ventilação alto, potencial de ventilação médio e baixo potencial de ventilação, respectivamente. A partir da análise do mapa de cobertura do solo de Arapiraca, no qual foi adotada a resolução *raster* de 100 m x 100 m, nota-se uma maior tacxa de ocupação do solo nos bairros mais centrais, os quais são constituídos por construções com pouco ou nenhum recuo (padrão morfológico horizontal denso geminado), com destaque para o bairro Centro e bairro Alto do Cruzeiro, onde está localizado o tecido 2, Residencial Ares do Alto. Quanto aos resultados, a classe de valor -1 (Figura 5A), que representa o adensamento do solo com taxa de ocupação entre 30% e 50%, abrange 6,28 km² e o efeito causado por estas regiões no potencial dinâmico da cidade foi visto como médio. Já a classe de valor 0 (zero) que representa um adensamento corresponde a taxa de ocupação de solo superior a 50%, ocupa uma área de 0,75 km², representando as áreas que possuem uma ocupação dos lotes pela edificação muito elevada. Já as localidades mais afastadas do centro, constituídas por áreas de espaços verdes ou livres, pode-se observar que os tecidos urbanos apresentam taxa de ocupação entre 0 e 30% e a classe de valor -2 equivale a 25,53 km² (Figura 5A), sendo essa a classe com maior predominância na cidade. Assim, em relação ao padrão de ocupação do solo urbano, foi constatado que maior parte da estrutura urbana local apresenta potencial satisfatório para o aproveitamento da ventilação natural local na escala microclimática . Em síntese, percebe-se que a maior parte dos bairros centrais e seus circunvizinhos necessitam empregar estratégias bioclimáticas para a alcançar uma adequação no tecido urbano.

Através da elaboração do *Mapa de Declividade/encostas* de Arapiraca-AL (Figura 5B) foi constatado que a cidade não apresenta nenhuma declividade acima de 40%, a qual seria considerada mais significativa quanto ao potencial de amenização climática, segundo Ribeiro (2013). Todo o território da cidade apresenta índice 0 de aproveitamento das encostas como fator de amenização térmica, com declividade abaixo de 40%, ou seja, Arapiraca não tem uma estrutura topográfica com pontos íngremes capazes de canalizar a ventilação e distribuir a massa de ar para efeito de otimização de desempenho climático. As condições topográficas de Arapiraca são homogêneas, não havendo alterações significativas.

Através do mapeamento das *Massas d'água* de Arapiraca (figura 5C) foi possível identificar poucos elementos de corpos d'água distribuídos ao longo da cidade, com maior concentração no bairro Zélia Barbosa, Olho D'água dos Cazuzinhos e Padre Antônio Lima Neto. O maior corpo d'agua está localizada no bairro Zélia Barbosa, conhecido como Lago da Perucaba. Porém, essa massa d'água não está dentro da faixa de ideal de influência na amenização climática de tecidos urbanos, ou seja, 0 a 70m de distância ou da faixa intermediária de 70 a 140m de distância, segundo Ribeiro (2013). Portanto, não pode ser considerado um potencial ou elemento de amenização térmica para os assentamentos construtivos localizados no entorno do Lago Perucaba, como o Residencial Riviera (tecido 2).

Através da sobreposição das camadas correspondentes ao Mapa de *Ocupação do Solo* (Figura 5A), *declividade* (Figura 5B) e *proximidade de massas d'água* (Figura 5 C) foi gerado o *Mapa de Potencial Dinâmico* (Figura 6), com a determinação de pesos para representar o potencial dos tecidos urbanos quanto ao aproveitamento da estratégia bioclimática, ventilação natural, considerando os aspectos morfológicos mapeados. Neste mapa. as áreas que apresentaram o maior valor absoluto negativo (peso -4) são áreas que possuem o maior potencial de amenização térmica quanto ao padrão de aproveitamento dos ventos para os processos de trocas térmicas (resfriamento) e podem contribuir positivamente para dissipação de carga térmica na escala microclimática. As áreas identificadas com peso igual a 0 (zero), são consideradas neutras quanto a capacidade de amenização, ou seja, a estrutura do tecido não é capaz de amenizar a temperatura do ar na escala microclimática, através do uso da ventilação natural. Os fatores com grande valor significativo no mapa de potencial dinâmico foram as massas d'água e a porosidade da malha.

O mapa de declividade não teve relevância, pois, todo o território geográfico da cidade apresenta declividade inferior a 40% . Dessa forma foi possível analisar que as áreas mais afastadas do centro da cidade possuem um maior potencial de amenização climática. Para explicitar a importância dos aspectos relacionados à porosidade da malha urbana no desempenho climático de tecidos urbanos, na Figura 5 D, apresenta-se o *Mapa Analítico Climático Urbano,* elaborado a partir da sobreposição do *Mapa de Carga Térmica* e o *Mapa de Potencial Dinâmico* (Figura 4). Verifica-se as áreas de menor porosidade da malha corresponderam aos ambientes urbanos classificados como grupo 1 (áreas de alto potencial de amenização climática -necessidade de preservação) e grupo 2 (áreas com moderado potencial de amenização climática (necessidade de controle de ocupação do solo). No caso específico do sítio urbano de Arapiraca, estas áreas coincidiram com as malhas urbanas determinadas pelo maior índice de densidade arbórea e menor volume edificado urbano. Estes fatores associados à alta taxa de porosidade da malha urbana, podem contribuir significativamente para presença de estratégias bioclimáticas locais, como a ventilação natural e resfriamento evaporativo. Já as áreas de baixa e média porosidade da malha urbana, corresponderam aos grupos 3 (áreas com ausência de estratégias de amenização climática e carga térmica moderada), 4 (áreas com carga térmica alta -necessidade de adequação do tecido urbano) e 5 (áreas de carga térmica muito alta - necessidade de incorporação de estratégias bioclimáticas para adequação de tecidos urbano). Estes grupos representam os tecidos urbanos determinados, além de maior ocupação do solo, pelo maior volume edificado e menor densidade arbórea.

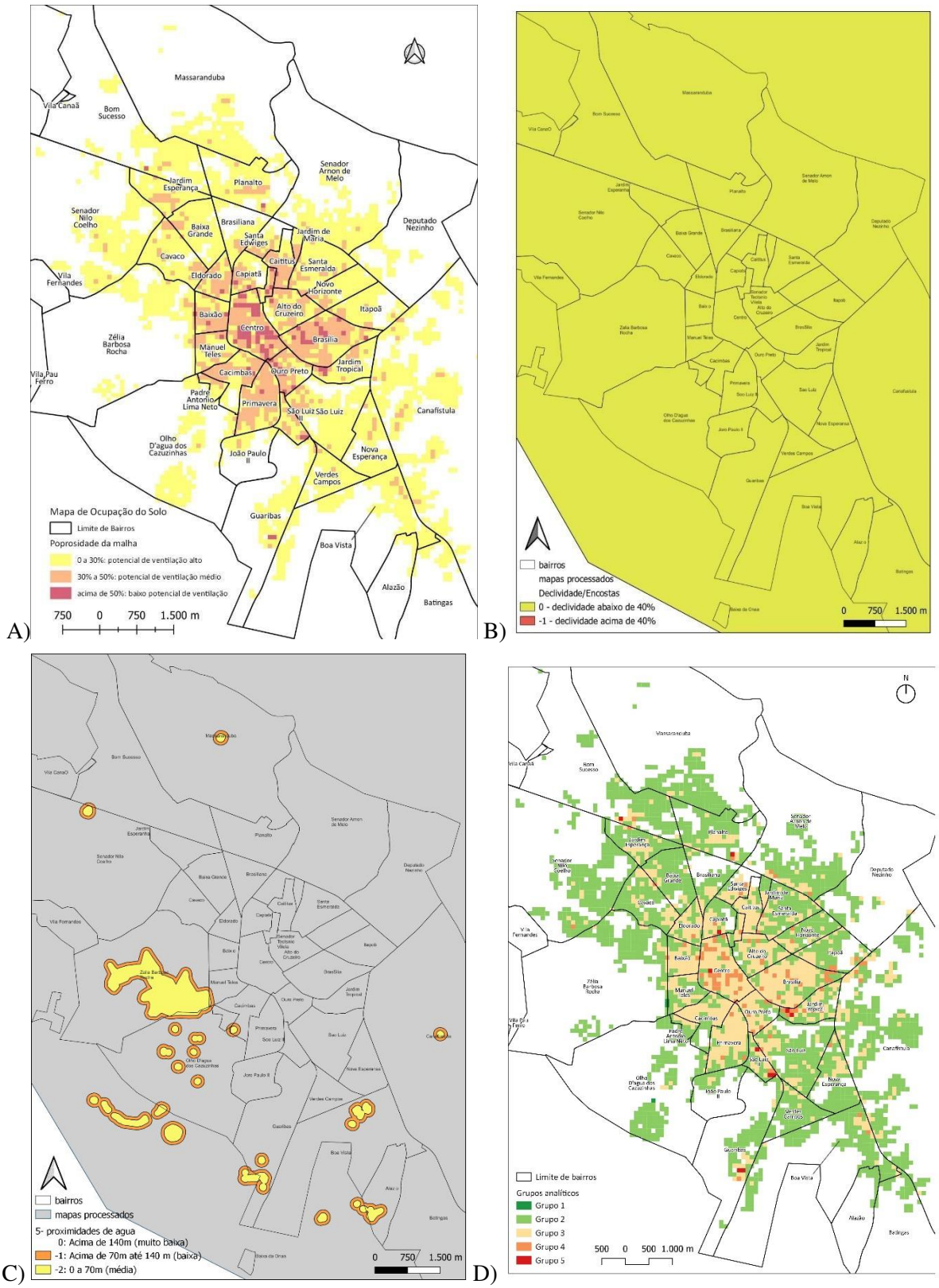


Figura 5- Mapa de Ocupação do Solo - Porosidade da Malha construída (A), Mapa de Declividades (B), Mapa de Proximidades de massas d'água (C), Mapa Climático Analítico Urbano de Arapiraca (D). Fonte: Os autores (2022).

Para caracterizar as diferenciações térmicas entre os tecidos, foram escolhidos 14 dias representativos[2] (Tabela 1), e observou-se dentre eles que o dia 11/01/2022 apresentou os maiores valores de temperatura do ar. Considerando os valores de temperatura máxima registrada nos tecidos monitorados, foram verificadas diferenças no desempenho climático, com variações de até 3,4ºC entre o tecido 4 – Residencial Agreste e o

[2] O dia representativo, é aquele que possui um padrão uniforme de aquecimento observando os dados de temperatura do ar e radiação, com ausência de pluviosidade e nebulosidade

tecido 1 – Residencial Ares do Alto. O tecido 1, está localizado em área de ocupação de solo média (entre 30% e 50%), diferente dos demais pontos, localizados em tecidos de baixa ocupação de solo, com maior potencial de aproveitamento da ventilação natural (taxa de ocupação do solo abaixo de 30%). Na tabela 1, estão descritos os valores de diferenciação térmica entre o Tecido 1 e os demais tecidos monitorados.



Figura 6- Mapa de potencial dinâmico de Arapiraca-AL. Fonte: 2022.

Tabela 1 - Valores de temperatura máxima do ar (ºC) e diferenças térmicas (ºC) entre os tecidos urbanos monitorados. Fonte: Autoral, 2022.

DATAS	Tecido 1 ARES DO ALTO	Tecido 2 RIVIER A	Diferença térmica Tecido 1- 2	Tecido 3 BOSQUE	Diferença térmica Tecido 1- 3	Tecido 4 AGRESTE	Diferença térmica Tecido 1- 3
31/01/2022	35	33,9	1,1	33,8	1,2	34	1
01/02/2022	35,9	33,8	2,1	34	1,9	34,2	1,7
04/02/2022	34,8	33,2	1,6	33,4	1,4	32,6	**2,2**
05/02/2022	35,9	33,3	2,6	33,9	2	33,1	**2,8**
06/02/2022	37,8	34,6	**3,2**	34,9	**2,9**	34,4	**3,4**
07/02/2022	36,6	34,2	**2,4**	35,2	1,4	34,8	1,8
08/02/2022	36,5	34,2	**2,3**	34,7	1,8	33,9	**2,6**
09/02/2022	36,6	34,4	**2,2**	34,5	2,1	34,4	2,2
10/02/2022	36	34,6	1,4	34,6	1,4	35	1
11/02/2022	37,3	35,8	1,5	35,9	1,4	35,6	1,7
13/02/2022	35,9	35	0,9	34,8	1,1	35,4	0,5
14/02/2022	33,9	33,2	0,7	33,4	0,5	33,8	0,1
15/02/2022	35,1	33,6	1,5	34,1	1	33,7	1,4
17/02/2022	36,3	34,2	2,1	34,9	1,4	34,2	**2,1**

Em relação ao tecido 2 (Residencial Riviera), apesar de ter registrado em todos os dias de monitoramento temperatura do ar inferior ao tecido 1, seu desempenho climático não apresentou diferenciações significativas entre os demais tecidos, embora esteja mais próximo do maior corpo d'água da cidade, o Lago da Perucaba.

Este resultado corrobora com as afirmações de Ribeiro (2013) que indica que os efeitos microclimáticos em relação à influência de corpos d'água ocorre em distâncias de até 140 m, sendo a localização do Residencial

Riviera superior a esta referência (250 m de distância em relação ao Lago da Perubaca). Conforme a Tabela 1, as diferenças térmicas entre o Tecido 2, 3 e 4 em relação ao comportamento da temperatura máxima são inferiores a 1ºC Outra observação importante em relação à localização deste tecido refere-se ao seu posicionamento em relação aos ventos predominantes locais (direção leste e sudeste), pois, o Lago da Perucaba encontra-se em área a sotavento em relação ao tecido do Residencial Riviera.

No período noturno não foi identificado acúmulo de calor, em nenhum dos tecidos monitorados, considerando os dias representativos, pois, o comportamento da temperatura do ar foi determinado pela redução dos valores e baixas variações entre os tecidos analisados.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que a configuração urbana influencia diretamente na criação de microclimas, principalmente, por meio da ocupação do solo urbano, sendo este um fator relevante para a implementação de estratégias de amenização climática a partir do aproveitamento da ventilação natural.

Como resultado, o mapa de potencial dinâmico mostrou que Arapiraca possui uma estrutura urbana de baixa capacidade de amenização térmica quando levado em consideração as massas de água – devido à pouca presença destes elementos, além disso, as existentes estão localizadas de forma dispersa apresentando pouca influência devido ao distanciamento em relação à malha urbana consolidada. Portanto, o fator determinante na amenização térmica é a porosidade da malha/ocupação do solo, pois, foi evidenciado que, com exceção dos bairros centrais há uma predominância de áreas com alto potencial de ventilação em Arapiraca por ainda apresentaram taxa de ocupação média e baixa, demostrando que são importantes para adequação climática local. Logo, os dados apurados evidenciam a interferência que o entorno causa no desempenho climático dos tecidos e reiteram a importância da aplicação de estratégias para adequação ambiental dos tecidos urbanos e para mitigação das condições adversas do clima local.

A predominância da morfologia horizontal densa geminada, nas áreas centrais de Arapiraca, representa um obstáculo para adequação climática por representar uma dificuldade para a permeabilidade da ventilação ao nível da edificação. Dessa maneira, com a criação do mapa de potencial dinâmico foi possível identificar que as áreas mais afastadas do centro da cidade, onde há menor ocupação do solo, possuem maior eficiência para evitar o acúmulo de carga térmica urbana.

Tendo em vista a fragilidade da legislação urbanística de Arapiraca que ainda não contempla parâmetros de ocupação de solo urbano, o presente estudo evidenciou a necessidade da incorporação da informação climática no processo de planejamento urbano local, principalmente quanto ao estabelecimento de taxa de ocupação do solo controlada seguindo diretrizes pré-estabelecidas pelo plano diretor da cidade. Por outro lado, os sítios que estão já consolidados, como o Centro, devem ser estabelecidas estratégias de sombreamento do espaço urbano e de resfriamento evaporativo, com o objetivo de diminuir os riscos de aquecimento urbano no nível microclimático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTMENT OF ARCHITECTURE CUHK. **Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment**: Feasibility Study (Final Report) 2008. Disponível em: https://www.pland.gov.hk/pland_en/p_study/prog_s/ucmapweb/ucmap_project/content/reports/final_report.pdf Acesso em: 05 de março de 2021

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S. De; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2017. v. 9, n. suppl 1, p. 255– 270.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE. **Censo de 2010.** Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama. Acesso em: 31/08/2022.

REN, C.; NG, E. Y. Y.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: A review. **International Journal of Climatology**, 2011. v. 31, n. 15, p. 2213–2233.

RIBEIRO, C. A. M. **Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do Município de João Pessoa - PB**. Dissertação (Mestrado). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2013.

SILVA, M. F. **Estratégias Bioclimáticas para seis cidades alagoanas: c**ontribuições para adequação da arquitetura ao clima local. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2019.

TORRES, S. C. **Forma e Conforto: e**stratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017. 397f.