

IMPACTO DE LA MORFOLOGÍA DEL VECINDARIO EN EL CLIMA TROPICAL: UN ESTUDIO DE CASO DE LOS BARRIOS TRADICIONALES DE KANYAKUMARI, INDIA

Recibido 25/03/2025
Aceptado 30/05/2025

IMPACT OF NEIGHBORHOOD MORPHOLOGY IN TROPICAL CLIMATES: A CASE STUDY OF THE TRADITIONAL NEIGHBORHOODS OF KANYAKUMARI, INDIA

IMPACTO DA MORFOLOGIA DOS BAIRROS EM CLIMAS TROPICAIS: UM ESTUDO DE CASO DOS BAIRROS TRADICIONAIS DE KANYAKUMARI, ÍNDIA

Monika Shankar
Master of Sustainable Architecture
Department of Architecture, Research Scholar
National Institute of Technology, Tiruchirappalli, India
<https://orcid.org/0000-0001-7147-1262>
401122003@nitt.edu

Meenatchi Sundaram
Doctor of Philosophy in Architecture and Planning
Professor, Department of Architecture
National Institute of Technology, Tiruchirappalli, India
<https://orcid.org/0000-0003-0709-8373>
meenatchi@nitt.edu



ABSTRACT

The morphology of the built environment interacts with the surrounding thermal environment. Thermal interactions affect a neighborhood's energy demand and thermal comfort. The extreme temperatures owing to climate change demand intervention reciprocating in urban heating. Thus, this study analyzed the thermal interaction between morphology and the thermal environment. The study was conducted in the tropical city of Kanyakumari, located in India. The influence of aspect ratio, sky view factor, green cover ratio, and building cover ratio on the Universal Thermal Climate Index was studied. A quantitative analysis of the morphological variables was conducted to establish a relationship with the comfort variable. The aspect and green cover ratios positively correlated with the climate index. In contrast, the sky view factor and building cover ratio had a negative relation with the index. However, when vegetation was introduced in the streets, the interaction between the aspect ratio and the index was reversed, where an increase in aspect ratio reduced the comfort in the canyon by introducing vegetation.

Keywords

morphology, residential area, climate, tropical zones

RESUMEN

La morfología del entorno construido interactúa con el ambiente térmico circundante. Las interacciones térmicas afectan la demanda energética y el confort térmico de un vecindario. Las temperaturas extremas debido al cambio climático exigen una intervención para reciprocar la calefacción urbana. Por lo tanto, este estudio analizó la interacción térmica entre la morfología y el ambiente térmico. El estudio se llevó a cabo en la ciudad tropical de Kanyakumari, en la India. Se estudió la influencia de la relación de aspecto, el factor de vista del cielo, la relación de cubierta verde y la relación de cubierta edificada en el Índice Climático Térmico Universal. Se realizó un análisis cuantitativo de las variables morfológicas para establecer una relación con la variable de confort. Las relaciones de aspecto y cubierta verde se correlacionaron positivamente con el índice climático; por el contrario, el factor de vista del cielo y la relación de cubierta edificada tuvieron una relación negativa con el índice. Sin embargo, cuando se introdujo vegetación en las calles, la interacción entre la relación de aspecto y el índice se invirtió. Un aumento en la relación de aspecto redujo el confort en el cañón al introducir vegetación.

Palabras clave

morfología, zona residencial, clima, zonas tropicales

RESUMO

A morfologia do ambiente construído interage com o ambiente térmico circundante. As interações térmicas afetam a demanda energética e o conforto térmico de um bairro. As temperaturas extremas decorrentes das mudanças climáticas exigem intervenções que repercutem no aquecimento urbano. Assim, este estudo analisou a interação térmica entre a morfologia e o entorno térmico. O estudo foi realizado na cidade tropical de Kanyakumari, localizada na Índia. Foi estudada a influência da relação de aspecto, do fator de vista do céu, da relação de cobertura verde e da relação de cobertura dos edifícios no Índice Climático Térmico Universal. Realizou-se uma análise quantitativa das variáveis morfológicas para estabelecer uma relação com a variável de conforto. As proporções de aspecto e cobertura verde correlacionaram-se positivamente com o índice climático. Em contrapartida, o fator de vista do céu e a proporção de cobertura dos edifícios tiveram uma relação negativa com o índice. No entanto, com a introdução de vegetação nas ruas, a interação entre a proporção de aspecto e o índice foi invertida em áreas onde um aumento na relação de aspecto costumava reduzir o conforto no cânion.

Palavras-chave:

morfologia, área residencial, clima, zonas tropicais

INTRODUCCIÓN

Las ciudades indias están experimentando un desarrollo significativo y continuo. Actualmente, la preocupación clave en el diseño de las ciudades es mitigar el calentamiento urbano (Pattacini, 2012) y responder al cambio climático. Hay varios aspectos involucrados en esto. El balance de energía a nivel de las copas de los árboles determina el ambiente térmico resultante. La ganancia de calor a través de la radiación solar y los factores antropogénicos en ausencia de advección es igual a la pérdida de calor a través de la convección, la evaporación y el almacenamiento de calor. La geometría de cañón y las propiedades térmicas influyen en estos intercambios térmicos a nivel de las copas de los árboles (Oke, 1982). Por lo tanto, una geometría construida óptima y una configuración de superficie garantizan vecindarios sensibles al clima (Oke et al., 1991). Sin embargo, la configuración urbana determina la estrategia de mitigación. Por ende, la estrategia de diseño no puede generalizarse (Golany, 1996).

El confort térmico y la reducción de la temperatura del aire exterior son esenciales para desarrollar vecindarios sustentables (Emmanuel & Fernando, 2007). La morfología inmediata altera el microclima de un espacio abierto y su interacción con el ambiente interior. La morfología construida y el ambiente térmico son interdependientes. La Oficina de Eficiencia Energética identificó que la influencia de las temperaturas extremas combinada con el crecimiento económico aumentó la demanda de energía para lograr confort (Bureau of Energy Efficiency, 2023). Así, el diseño óptimo de la morfología del vecindario tiene como objetivo crear un ambiente confortable y reducir la demanda de energía.

Estudios anteriores analizaron críticamente el clima interior para reducir la demanda de energía y mejorar el confort y la calidad del aire, mientras que los estudios actuales destacan los entornos al aire libre para lo mismo (Shafaghat et al., 2016). Por lo tanto, un enfoque holístico es esencial para abordar los entornos interiores y exteriores, ya que tienen una relación recíproca.

En un estudio de entorno térmico, es necesario analizar la temperatura radiante media (MRT, en inglés) además de la temperatura del aire. El análisis de la MRT garantizará el confort (Emmanuel & Fernando, 2007). En consecuencia, es necesario considerar un parámetro de confort térmico que aborde el efecto de la radiación solar en el confort humano percibido.

Se han analizado los trópicos por su relación entre la geometría de las calles y el microclima. Sin embargo, hay menos estudios sobre las zonas costeras de los trópicos. De manera similar, no se ha discutido la variación del microclima interurbano (Shafaghat et al., 2016). Aunque los estudios abordan el clima tropical, las estrategias de diseño urbano no pueden generalizarse (Emmanuel & Fernando, 2007). Por tal razón, una medición *in situ* de los vecindarios de la ciudad garantizará un entorno construido sustentable.

El estudio de la morfología de su rendimiento térmico a menudo aborda configuraciones de edificios, calles y paisajes simultáneamente (Emmanuel & Johansson, 2006; Sun, 2011; Boukhbla et al., 2013; Tsoka et al., 2020). Los efectos positivos de la vegetación en el ambiente térmico son evidentes (Tsoka et al., 2017; Lassandro et al., 2019; Tsoka et al., 2020; Zhou et al., 2021). Por consiguiente, los estudios para optimizar edificios y calles son críticos para mejorar las condiciones térmicas. En este estudio, la morfología seleccionada reflejó la configuración del entorno construido a través de la relación de aspecto, el factor de visión del cielo, la relación de cobertura verde y la relación de cobertura del edificio. Aunque la relación de aspecto y el factor de visión del cielo transmiten el grado de cierre del cañón urbano, el estudio del factor de visión del cielo fue crucial, ya que se puede alterar fácilmente (Zhu et al., 2022).

Este estudio utilizó asentamientos tradicionales de casas pareadas en Kanyakumari como estudio de caso para explorar la relación entre las características morfológicas y el entorno térmico en un ambiente tropical. Se estudió el ambiente térmico utilizando variables de confort a escala de calle y barrio. La investigación identificó el diseño más efectivo para un vecindario sustentable a través del análisis estadístico en un contexto tropical.

El análisis se realizó en Nagercoil, una ciudad en Kanyakumari, India. Se ubica en 8,1° latitud norte y 77,4° longitud este. Las características culturales y geográficas influyeron en la evolución de la morfología construida de Kanyakumari. La ciudad se encuentra bajo un clima tropical húmedo y seco (Aw) según la Clasificación Köppen-Geiger y un clima cálido y húmedo según el Código Nacional de Construcción (NBC, 2016). La ciudad experimenta una temperatura media anual de 27,2°C, un mínimo de 23°C en febrero, y un máximo de 33,2°C en septiembre. El confort térmico adaptativo estuvo dentro del rango en la mayoría de los meses, excepto en abril (Figura 1a). La humedad relativa media anual fue del 78,54%, con un mínimo del 43% en febrero y un máximo del 99% en septiembre. Los niveles de humedad estuvieron principalmente por encima de la banda térmica (Figura 1b). El viento fluye predominantemente de oeste a este, alcanzando hasta 5 en la Escala de Beaufort (Figura 1e). Se puede observar un ligero movimiento del viento por debajo de 1,5 m/s desde todas las direcciones (Figura 1f). La ciudad experimenta cielos despejados entre enero y abril (Figura 1c). En abril, se observó estrés por calor el 97% de las veces (Figura 1d). La ausencia de nubosidad densa durante abril crea estrés térmico. Por lo tanto, este estudio abordó el mes con estrés térmico prolongado (Betti et al., 2024).

METODOLOGÍA

El estudio apuntó a establecer una relación entre la morfología y el entorno térmico de Kanyakumari. Para el estudio se seleccionaron los barrios tradicionales de la ciudad. Estos vecindarios tenían casas pareadas orientadas al norte o al sur. Por ende, las calles principales estaban a lo

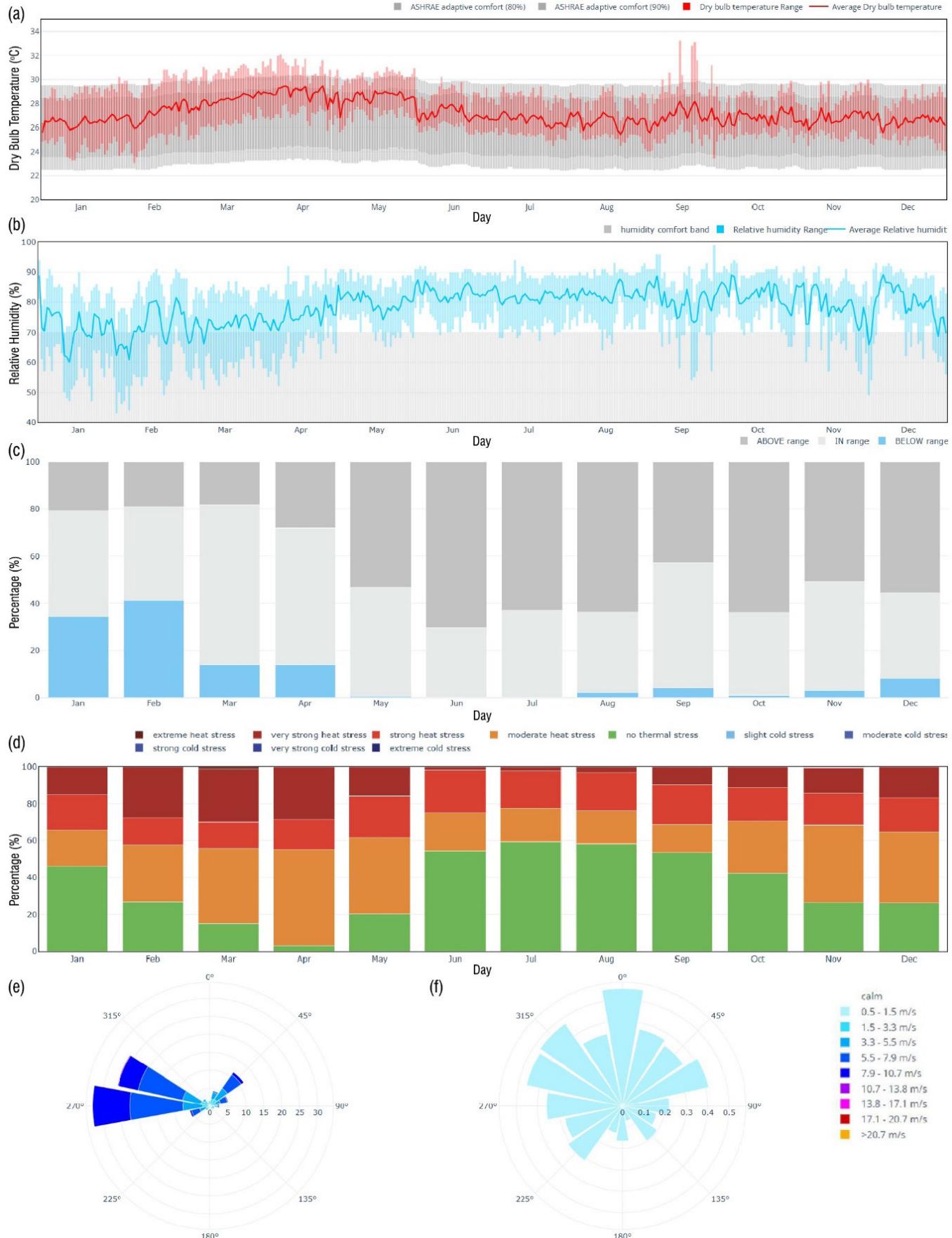


Figura 1. Perfil meteorológico de Kanyakumari. Source: Betti et al. (2024)

Tabla 1. Metodología. Fuente: Preparado por los autores.

Objetivo	Actividad	Resultado	Detalles
Identificar	Revisión de la literatura	Variables morfológicas	Relación de aspecto (H / W)
			Factor de visión del cielo (SVF)
			Relación de cobertura verde (GCR)
			Relación de cobertura del edificio (BCR)
		Variables de entorno térmico	Temperatura del aire 1,5 m
			Temperatura del globo
			Humedad relativa
			Movimiento del viento 1,5 m
			Kottar (N-1)
	Estudio preliminar	Vecindarios	Vadeeswaram (N-2)
			Vadasery (N-3)
Seleccionar	Vecindarios	Orientación	Calles este-oeste
		Relación de aspecto	Poco profundo ($H/W < 1$)
			Angosto ($H/W > 1$)
		GCR	$GCR < 10$
			$GCR > 10$
	Ambiente térmico	Variable de confort	Índice Universal de Clima Térmico (UTCI)
Proceso	Medición en terreno	Temperatura del aire	Instrumento de medición climática Testo 440 y sonda de molinete de Ø 100 mm
		Temperatura del globo	Medidor de estrés por calor WBGT
		Humedad relativa	Medidor de estrés por calor WBGT
		Movimiento del viento	Instrumento de medición climática Testo 440 y sonda de molinete de Ø 100 mm
		Factor de visión del cielo	Aplicación Google Street View
Analizar	Estadísticas	Descriptivo	Diagrama de caja
			Gráficos de dispersión

largo del eje este-oeste. Las casas pareadas y la orientación norte-sur redujeron la ganancia de calor dentro de las casas (Shankar & Sundaram, 2023). Esta morfología expuso las calles a la intensa radiación solar. Tradicionalmente, estas calles tenían árboles, que luego fueron retirados para construir calles. Esto deterioró el ambiente térmico exterior. Este carácter de la morfología está presente solo en Vadasery (N-3). Así, comparar el entorno térmico en estos vecindarios garantizará una estrategia de diseño óptima para los barrios de Kanyakumari. La ciudad experimenta temperaturas moderadas del aire, alta humedad relativa y movimiento del viento. Los datos meteorológicos indican que las condiciones son ideales durante todo el año. Sin embargo, también se evidenció un malestar significativo durante abril. La intensa radiación solar provoca una ganancia de calor y debe abordarse.

Se realizó una investigación en terreno de tres barrios residenciales en abril de 2024 y se analizó cuantitativamente.

Las variables para el estudio se derivaron de la revisión bibliográfica. La relación de aspecto es la altura promedio dividida por el ancho de la calle en un punto de medición dado. El factor de visión del cielo es la porción del cielo visible con respecto al área total del cielo desde un punto específico. Estas son variables tridimensionales que representan la exposición del cañón a la radiación entrante y al movimiento del viento. En variables bidimensionales, la relación de cobertura verde es la fracción del área ajardinada con respecto al área total, mientras que la relación de cobertura del edificio es la proporción del área construida con respecto al área total. La cobertura verde altera el ambiente térmico a través del enfriamiento evaporativo y el sombreado. La fracción construida proporciona sombreado y la propiedad del material responde a la radiación entrante a través del calor almacenado y la radiación reflejada. Se analizó la influencia de la relación de aspecto, el factor de visión del cielo, la relación de cobertura verde y la relación de cobertura del edificio en el movimiento del Índice Universal

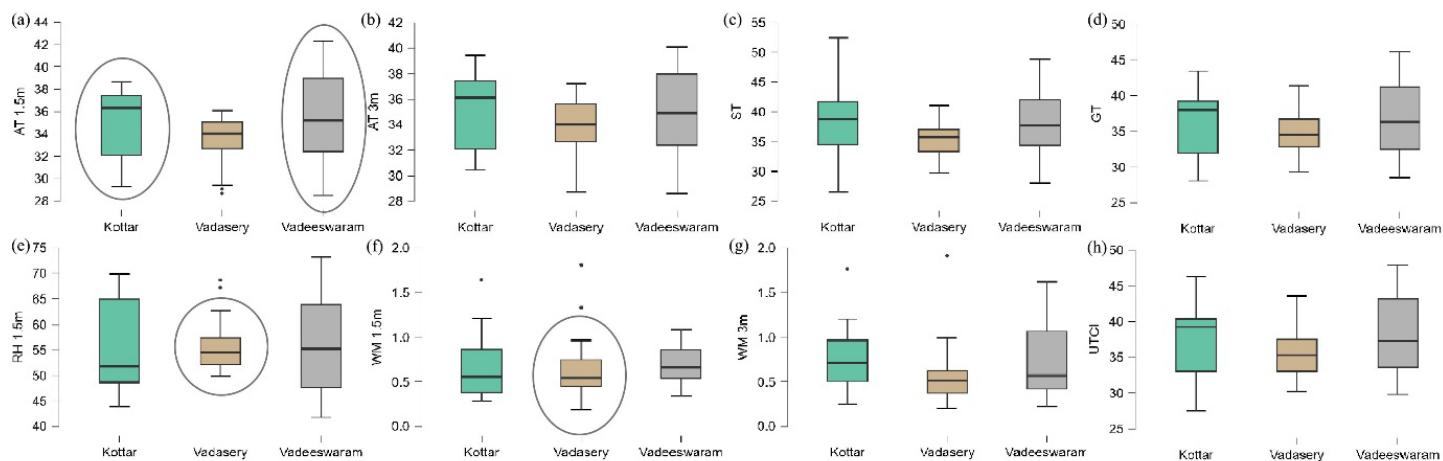


Figura 2. Perfil microclimático de los vecindarios. Fuente: Preparado por los autores.

de Clima Térmico. Las mediciones en terreno tomadas a 1,5 m y 3 m se utilizaron para calcular el UTCI. El perfil económico mixto del barrio residencial garantiza ganancias de calor similares a través de dispositivos y un mínimo movimiento vehicular. Por esto no se abordó el impacto del calor antropogénico. Un estudio previo no había encontrado diferencias significativas entre las relaciones de aspecto de 1, 2 y 3 (G. Chen et al., 2020). En consecuencia, las calles se dividieron en relaciones de aspecto de menos de uno y más de uno para el análisis. El flujo de trabajo del estudio se describe en la Tabla 1.

MORFOLOGÍA DEL VECINDARIO

Los vecindarios se encuentran a 20 km tierra adentro del mar y rodeados de colinas. Los barrios fueron seleccionados en función de sus similitudes en la orientación de las calles. Los vecindarios seleccionados estaban 1,5 km al norte entre sí para garantizar condiciones climáticas similares. Las calles principales del barrio estaban alineadas en el eje este-oeste. Las intersecciones que las conectan estaban en dirección norte-sur. Con base en el carácter morfológico documentado, se dividieron en categorías las relaciones de aspecto y de cobertura verde. Las calles se usaban para secar granos de arroz e hilados en N-1 antes de un desarrollo extenso. Las calles de la N-2 son anchas para acomodar procesiones durante las fiestas. De ahí que el tamaño de la calle permitiera la radiación solar y la máxima afluencia. El carácter de la calle de la N-3 fue significativamente diferente de la N-1 y N-2 debido a los árboles en el centro de las calles. Los edificios en el vecindario eran casas pareadas modernas o tradicionales de dos o tres pisos con techos inclinados. Por tal razón, la altura del edificio oscilaba entre 5 y 9 metros y tenía una relación de aspecto máxima de tres.

MEDICIÓN EN TERRENO

Abril experimenta una duración prolongada de estrés por calor. Por lo tanto, las mediciones en terreno se tomaron durante este período. Los datos se registraron entre las 6 am y las 6 pm cada tres horas. En total, se analizaron 12 puntos en la ciudad. Los vecindarios 1, 2 y 3 tenían cinco,

cuatro y tres puntos, respectivamente. Las mediciones se realizaron a 1,5 m para considerar el confort a nivel peatonal. El instrumento se aclimató para cada punto y se registró durante 5 minutos. En un análisis preliminar se analizó el radio de influencia de 30 m, 40 m y 50 m. Se encontró que el radio de influencia de 50 m era más efectivo. Los estudios anteriores analizaron 25 m, 50 m, 56 m, 75 m, 100 m, 125 m y 565 m y encontraron que un radio de influencia de 50 m era apropiado. (Krüger & Givoni, 2007; Jusuf & Hien, 2012). El vecindario fue mapeado para la relación de cobertura verde (GCR, en inglés), la relación de cobertura del edificio (BCR, en inglés) y la relación de espacio abierto (OSR, en inglés). Dado que la relación de espacios abiertos fue similar en todos los vecindarios, solo se analizaron GCR y BCR.

La temperatura del aire y el movimiento del viento se midieron a través del instrumento de medición climática Testo 440 con una sonda de molinete inalámbrica de 100 mm. La temperatura del globo y la humedad relativa se midieron usando el medidor TM-188d – Heat Stress WBGT. Después de procesar la imagen recopilada a través de la aplicación Google Street View, se calculó el factor de visión del cielo a partir de imágenes de ojo de pez usando RayMan Pro Versión 3.1 (Shankar & Marwaha, 2023). La temperatura radiante media (TRM, en inglés) se calculó usando la fórmula derivada de un globo negro de 40 mm (Vanossi et al., 2021; Ouyang et al., 2022). La temperatura del aire, el movimiento del viento, la humedad relativa y la MRT se utilizaron para calcular UTCI desde su sitio web oficial.

RESULTADO Y ANÁLISIS

Se realizó un análisis estadístico para comprender la relación entre las variables morfológicas y el ambiente térmico. El ambiente térmico se analizó mediante variables de microclima y una variable de confort. Las variables de microclima abordadas fueron la temperatura del aire, la temperatura del globo, el movimiento del viento y la humedad relativa. Para analizar el confort se utilizó el índice universal de clima térmico. El análisis se realizó en JASP (JASP Team, 2024).

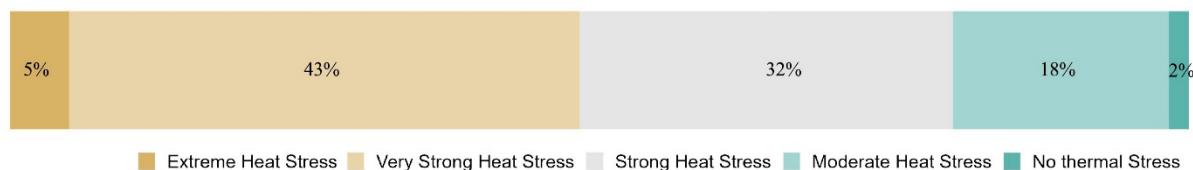


Figura 3. Distribución de la categoría UTCI en los vecindarios. Fuente: Preparado por los autores.

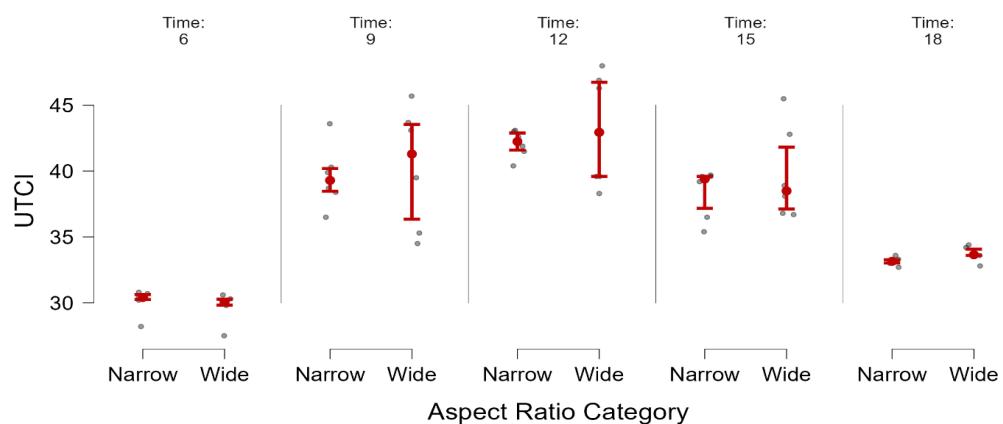


Figura 4. Impacto de la relación de aspecto. Fuente: Preparado por los autores.

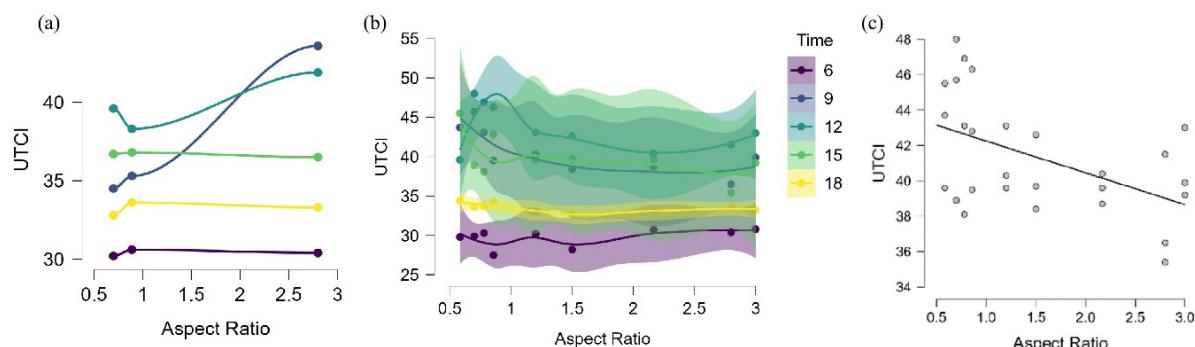


Figura 5. Datos de series temporales de relación de aspecto (a) N-3 (b) N-1 y N-2 (c) Correlación de Pearson para N-1 y N-2. Fuente: Preparado por los autores.

EL VECINDARIO

Todos los vecindarios mostraron una tendencia similar para los parámetros de temperatura, como se observa en la Figura 2. N - 3 tuvo un rango térmico más bajo, mientras que N-1 y N-2 experimentaron las temperaturas más bajas y más altas (Figura 2a, b, c y d). En consecuencia, N-3 tuvo un mejor desempeño que los otros vecindarios. De manera similar, la humedad relativa tuvo un rango térmico más alto en N-1 y N-2, mientras que fue consistentemente más alta en N-3 (Figura 2e). El movimiento del viento fue comparativamente menor en N - 3 (Figura 2f). El UTCI medio sugirió que las condiciones de confort térmico eran mejores en N-3, seguidas de N-2 y N-1 (Figura 2h). Las categorías de UTCI se trazaron de acuerdo con su frecuencia en los vecindarios en la Figura 3. Se evidenció una diferencia significativa con respecto a los datos meteorológicos. En

contraste con los datos meteorológicos, los vecindarios experimentaron un estrés por calor muy fuerte del 43% en lugar del 28.6% (Figura 1), y la ciudad no experimentó estrés por calor extremo en los datos meteorológicos. Por ende, una medición *in situ* del vecindario considerará el ambiente térmico prevalente en los vecindarios de Kanyakumari (Figura 3).

RELACIÓN DE ASPECTO

Las dos categorías de relación de aspecto se analizaron por su efecto en la variable de confort térmico. Los cañones anchos experimentaron un rango térmico mayor, mientras que los angostos tuvieron uno más pequeño. El UTCI fue más alto para cañones anchos que para cañones angostos. Sin embargo, los datos de las 6:00 tuvieron UTCI más bajos para cañones anchos que para cañones estrechos.

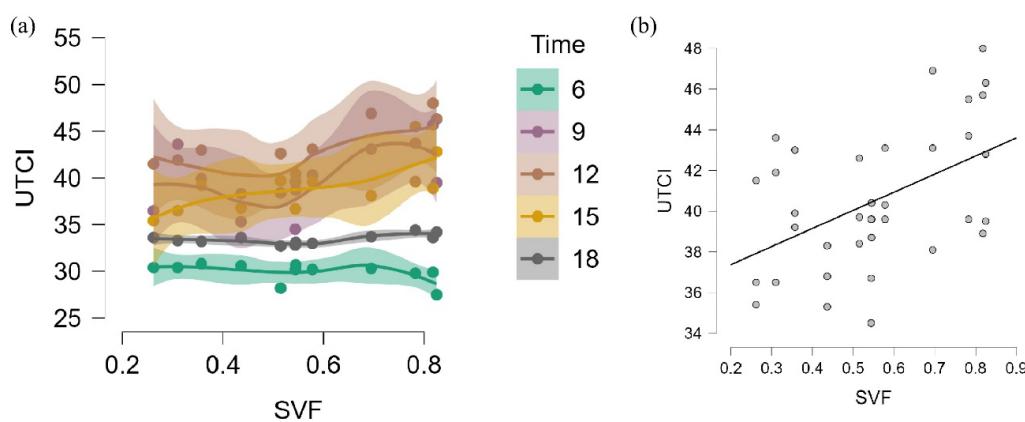


Figura 6. Datos de series temporales de todos los vecindarios y gráfico de correlación. Fuente: Preparado por los autores.

La mayor exposición en cañones anchos permitió un mejor ambiente térmico por la noche. En consecuencia, los cañones angostos se desempeñaron mejor que los cañones anchos durante el día (Figura 4).

Los valores continuos de la relación de aspecto se analizaron para derivar las tendencias (Figura 5). Dado que N-3 difería significativamente en su rango térmico y distribución, se analizó por separado (Figura 5a). Los gráficos de dispersión sugirieron una relación no lineal entre UTCI y la relación de aspecto. El gráfico sugirió un cambio mínimo en los datos de las 6:00 y las 18:00 con respecto a la relación de aspecto (Figura 5b). En N3, los datos de las 9:00 y las 12:00 resaltaron el aumento de temperatura con un aumento en la relación de aspecto. Simultáneamente, en N-1 y N-2, un aumento en la relación de aspecto disminuyó la temperatura durante las 9:00, 12:00 y 15:00. La relación contrastante de UTCI entre barrios se debió a la influencia de la vegetación. Una relación de aspecto más alta cambia la temperatura rápidamente debido al aumento de la exposición. Sin embargo, la presencia de vegetación en un cañón angosto captura el calor. Por esto, los cañones poco profundos eran ideales con vegetación, y los cañones angostos eran ideales sin vegetación intensiva en el cañón de la calle.

Los datos de las 6:00 y las 18:00 no mostraron una diferencia significativa. Por lo tanto, se realizó un análisis de correlación para las mediciones a las 9:00, 12:00 y 15:00. La correlación de Karl Pearson se realizó ya que el UTCI tenía un valor *p* de 0,269, superior a 0,05 para N-1 y N-2. La *r* de Pearson fue de -0,497 con un valor *p* de 0,008. Esto sugiere una relación negativa de $(0.497^2) 24.7\%$, y la hipótesis nula puede rechazarse a un nivel de significancia del 1%. Así, la relación de aspecto debería ser mayor para mejorar la comodidad en las calles durante el día. No obstante, el efecto significativo de la sombra de los árboles jugó el papel más crucial en la reducción de UTCI. Por ende, se puede lograr una mayor comodidad a través de la estructura del edificio o la sombra de la vegetación (Figura 5c).

FACTOR DE VISIÓN DEL CIELO

Se analizó la relación entre SVF y UTCI para todos los barrios. Se puede observar un ligero aumento en UTCI entre las 9:00 y las 15:00. La Figura 6a muestra una reducción en UTCI entre 0,4 y 0,6 a las 9:00 y las 12:00. Además, no hubo cambios significativos en los datos de las 6:00 y las 18:00. Por lo tanto, los datos de la mañana y de la tarde se omitieron para un análisis adicional (Figura 6a). El UTCI se distribuyó normalmente con un valor *p* de 0,089. Se realizó la correlación de Pearson, una prueba paramétrica, ya que el valor *p* era mayor de 0,05. El análisis de correlación sugirió una *r* de Pearson de 0,489 con un valor *p* de 0,002. Por tal razón, hay un $(0.489^2 = 0,239)$ 23,9% de relación positiva con un nivel de significancia del 1%. El UTCI diurno aumentará con un aumento en el factor de visión del cielo (Figura 6b). Así, el factor de visión del cielo de más de 0,6 es perjudicial para el entorno térmico diurno.

RELACIÓN DE COBERTURA VERDE

El índice de cobertura verde se analizó en base a dos categorías. La GCR superior al 10% tiene un aumento gradual en UTCI. Sin embargo, el aumento fue instantáneo cuando la GCR fue inferior al 10%. La temperatura máxima se experimentó al mediodía cuando la GCR era inferior al 10%. La temperatura nocturna fue ligeramente superior cuando la GCR fue superior al 10% (Figura 7). El rango térmico fue mayor en una mayor cobertura verde debido al calentamiento diferencial en el vecindario. Una mayor proporción de cobertura verde afectó positivamente el ambiente térmico diurno. La cobertura verde máxima estudiada en este análisis fue solo del 20%. Por lo tanto, es necesario analizar un índice de cobertura verde más alto.

Se analizó la relación entre la cobertura verde y el UTCI a lo largo del tiempo. Los datos de las 6:00 a las 18:00 no mostraron una tendencia significativa (Figura 8a). Sin embargo, los datos entre las 9:00 y las 15:00 mostraron una disminución en UTCI con un aumento en GCR (Figura 8b). Los datos de las 9:00 y las 12:00 siguieron máximos y

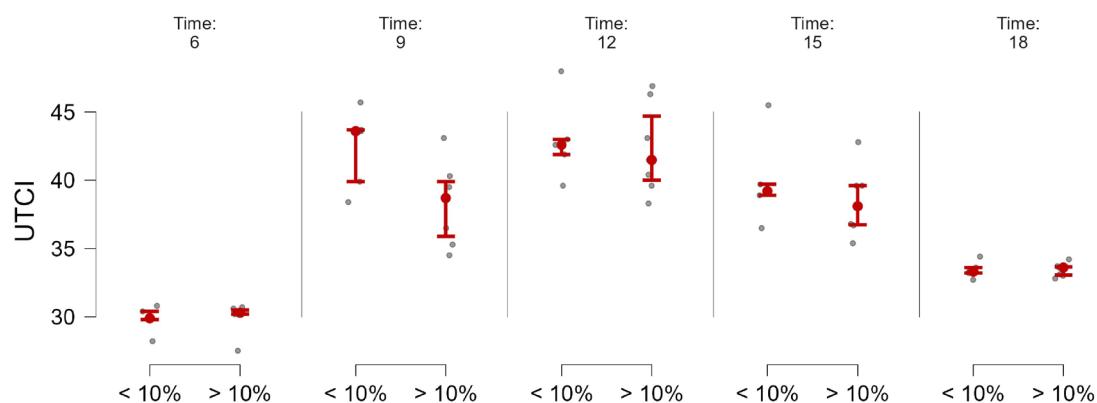


Figura 7. Impacto de la relación de cobertura verde. Fuente: Preparado por los autores.

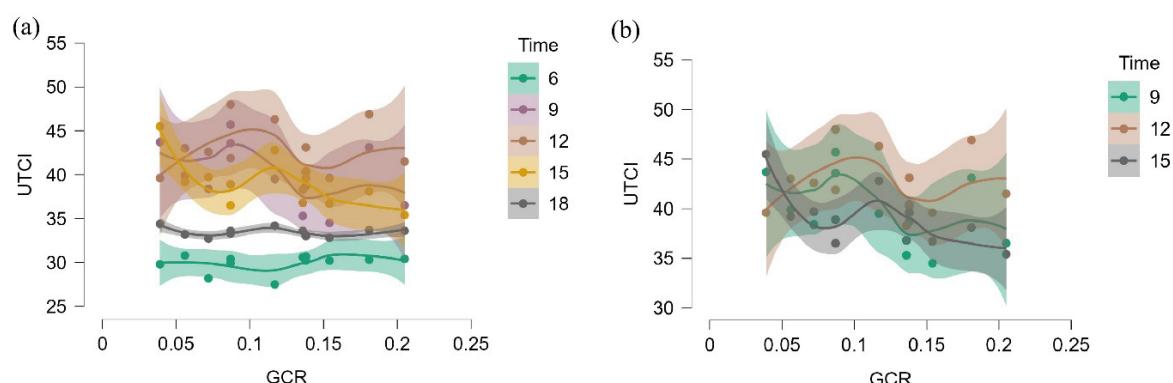


Figura 8. Datos de series temporales del vecindario (a) de 6:00 a 18:00, (b) 9:00 a 15:00. Fuente: Preparado por los autores.

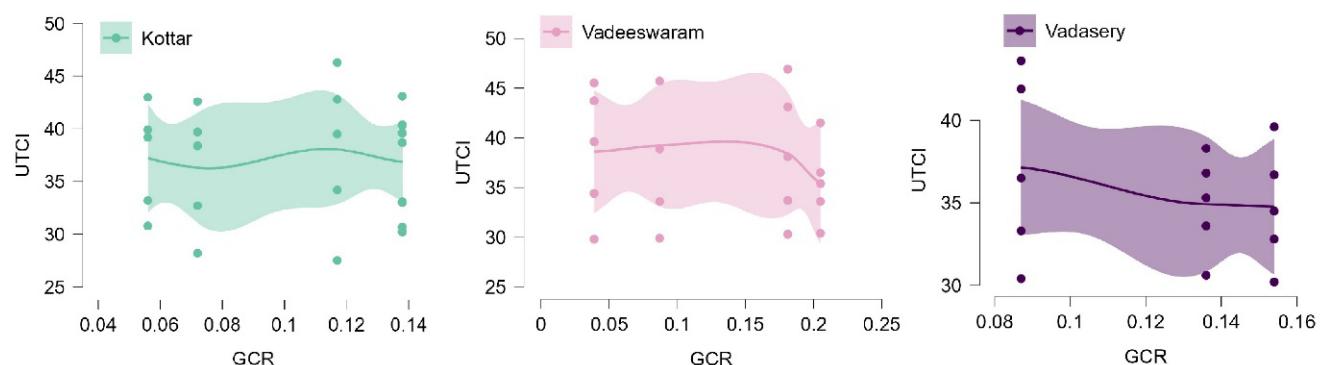


Figura 9. UTCI en los tres barrios N-1-Kottar, N-2-Vadeeswaram y N-3-Vadasery. Fuente: Preparado por los autores.

mínimos similares. Mientras que a las 15:00, la reducción se retrasó con un aumento de GCR. Esto sugiere una retención de calor en áreas con vegetación más alta. La disminución de la temperatura es más prominente en N-3 (Figura 9). En consecuencia, la vegetación en el cañón de la calle condujo a una reducción en UTCI y mejoró significativamente el ambiente térmico debido a la sombra. Sin embargo, no se estableció una correlación entre GCR y UTCI.

RELACIÓN DE COBERTURA DEL EDIFICIO

Se analizó la relación entre BCR y UTCI. El análisis no incluyó los datos de las 6:00 y las 18:00, ya que no existía una tendencia significativa (Figura 10a). El aumento en UTCI con un aumento en BCR se estableció en la Figura 10(b). El UTCI se distribuyó normalmente. Por ende, se realizó una correlación r de Pearson en los datos recopilados entre las 9:00 y las 15:00. El valor de la r de Pearson fue de 0,422, con un valor p de 0,010. Así, BCR y UTCI tienen una relación

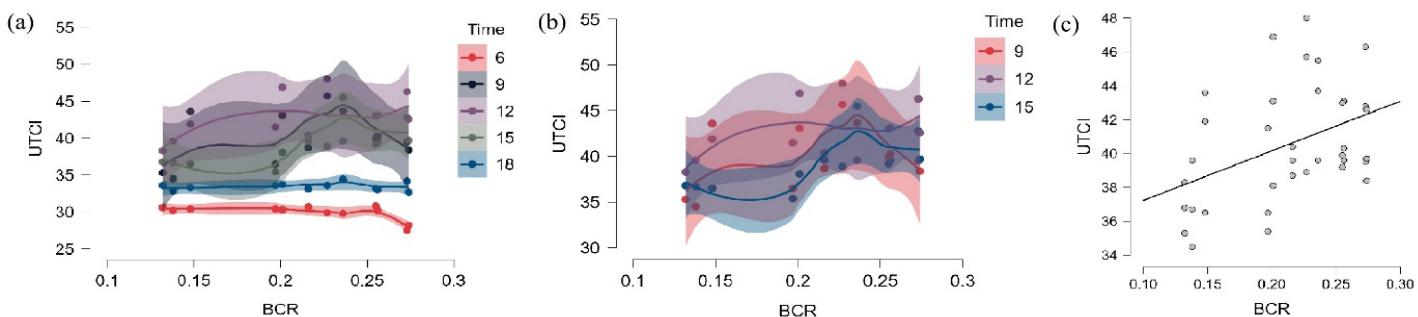


Figura 10. Datos de series temporales y correlación entre BCR y UTCI. Fuente: Preparado por los autores.

positiva del 17,8% y pueden rechazar la hipótesis nula a un nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, una fracción aumentada del entorno construido deteriorará el entorno térmico diurno. Aunque BCR, GCR y OSR son tres segmentos de un todo, el BCR estableció una correlación significativa con el UTCI en lugar del GCR (Figura 10c).

CONCLUSIÓN

Se analizó la geometría del vecindario para abordar el estrés por calor del verano en Kanyakumari. Se estableció la influencia de la relación de aspecto, el factor de visión del cielo, la relación de cobertura verde y la relación de cobertura del edificio en el Índice Universal de Clima Térmico. Un aumento en la relación de aspecto aumenta la comodidad durante el día, como se observó en un estudio similar realizado en ciudades tropicales (De & Mukherjee, 2018; Sharmin et al., 2019; Jamei et al., 2020). Este caso fue válido en ausencia de vegetación. Sin embargo, la vegetación en el vecindario tuvo un efecto inverso en el confort térmico. Un aumento en la relación de aspecto disminuyó el confort térmico cuando el cañón de la calle tenía vegetación. Esto se alinea con el estudio realizado en la zona costera de Sri Lanka (Emmanuel & Johansson, 2006). Además, se observó una reducción en el movimiento del viento cuando se introdujo la vegetación. Por ende, un estudio sugirió que la vegetación no debería obstaculizar el movimiento del viento para proporcionar sombra (S. Chen et al., 2020). El factor de visión del cielo tuvo una relación positiva con la variable confort. Un aumento en la FVS condujo a un aumento en las variables de temperatura diurna. Esto se alinea con el estudio realizado en condiciones climáticas similares (Sharmin et al., 2019; Yu et al., 2020). El efecto de mejora de la vegetación se estableció ya que el efecto de sombreado de la vegetación jugó un papel importante en el logro de la comodidad, similar a otros estudios (Johansson et al., 2004; Sun, 2011). Un aumento en la cobertura del edificio reduce el confort térmico. En consecuencia, un estudio similar recomendó edificios altos escasamente espaciados (De & Mukherjee, 2018).

Este estudio intentó comprender la interacción térmica entre la morfología 2D y 3D y el entorno circundante en Kanyakumari. El estudio tenía como objetivo reducir el estrés por calor que experimenta una ciudad costera en un clima tropical. Finalmente, se descubrió que el sombreado

contribuía significativamente a lograr el confort térmico. Se descubrió que una relación de aspecto y GCR más altas, así como un SVF y BCR más bajos, eran ideales para desarrollar un vecindario sostenible. Adicionalmente, el impacto se revierte cuando se introduce vegetación en la morfología. Así, se recomiendan relaciones de aspecto más bajas cuando se introducen árboles en el cañón de la calle. En este estudio no se analizó el efecto de la orientación. Además, se evitó la influencia del calor antropogénico. Por tal razón, los estudios futuros deberían abordar el impacto de la orientación y el calor antropogénico.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES CRediT

Conceptualización, M.S.; Curación de Datos, M.S.; Análisis Formal, M.S.; Adquisición de Financiación; Investigación, M.S.; Metodología, M.S. y A.M.S.; Administración de Proyectos, A.M.S.; Recursos, M.S.; Software. M. S.; Supervisión, A.M.S.; Validación, M.S.; Visualización, M.S.; Escritura-borrador original, M.S.; Escritura-revisión y edición; Escritura-revisión y edición, A.M.S.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Betti, G., Tartarini, F., Nguyen, C., & Schiavon, S. (2024). CBE Clima Tool: a free and open-source web application for climate analysis tailored to sustainable building design. *Building Simulation*, 17(3), 493-5008. <https://doi.org/10.1007/s12273-023-1090-5>

Boukhabla, M., Alkama, D., & Bouchair, A. (2013). The effect of urban morphology on urban heat island in the city of Biskra in Algeria. *International Journal of Ambient Energy*, 34(2), 100–110. <https://doi.org/10.1080/01430750.2012.740424>

Bureau of Energy Efficiency. (2023). *Impact of Energy Efficiency Measures For The Year 2021-22*. <https://udit.beeindia.gov.in/wp-content/uploads/2024/02/Impact-Assessment-Report-2021-22-1.pdf>

Chen, G., Wang, D., Wang, Q., Li, Y., Wang, X., Hang, J., Gao, P., Ou, C., & Wang, K. (2020). Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models

with various aspect ratios and thermal storage. *Science of the Total Environment*, 726, 138147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138147>

Chen, S., Zhang, W., Hien, N., & Ignatius, M. (2020). Combining CityGML files and data-driven models for microclimate simulations in a tropical city. *Building and Environment*, 185, 107314. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107314>

De, B., & Mukherjee, M. (2018). "Optimisation of canyon orientation and aspect ratio in warm-humid climate: Case of Rajarhat Newtown, India". *Urban Climate*, 24, 887–920. <https://doi.org/10.1016/j.ulclim.2017.11.003>

Emmanuel, R., & Fernando, H. J. S. (2007). Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka, and Phoenix, USA. *Climate Research*, 34, 241–251. <https://doi.org/10.3354/cr00694>

Emmanuel, R., & Johansson, E. (2006). Influence of urban morphology and sea breeze on hot humid microclimate: The case of Colombo, Sri Lanka. *Climate Research*, 30, 189–200. <https://doi.org/10.3354/cr030189>

Golany, G. S. (1996). Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment*, 30(3), 455–465. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00266-9](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00266-9)

Jamei, E., Ossen, D. R., Seyedmahmoudian, M., Sandanayake, M., Stojcevski, A., & Horan, B. (2020). Urban design parameters for heat mitigation in tropics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110362. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110362>

JASP Team. (2024). JASP (Version 0.19.2) [Computer software]. <https://jasp-stats.org/>

Johansson, E., Emmanuel, R., & Rosenlund, H. (September 19–22 2004). *Microclimate and thermal comfort in the warm humid city of Colombo, Sri Lanka*. Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands. <https://alexandria.tue.nl/openaccess/635611/p0661final.pdf>

Jusuf, S. K., & Hien, W. N. (2012). Development of empirical models for an estate-level air temperature prediction in Singapore. *Journal of Heat Island Institute International*, 7-2, 111-125. https://heat-island.jp/web_journal/HI2009Conf/pdf/15.pdf

Krüger, E., & Givoni, B. (2007). Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 1685–1698. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.019>

Lassandro, P., Di Turi, S., & Zaccaro, S. A. (2019). Mitigation of rising urban temperatures starting from historic and modern street canyons towards zero energy settlement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 609(7), 072036. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/7/072036>

NBC. (2016). *National Building Code of India 2016 Volumen 2*. Bureau of Indian Standards. <https://dn790000.ca.archive.org/0/items/nationalbuilding02/in.gov.nbc.2016.vol2.digital.pdf>

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under "ideal" conditions at night, part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 56, 339–358. <https://doi.org/10.1007/BF00119211>

Ouyang, W., Liu, Z., Lau, K., Shi, Y., & Ng, E. (2022). Comparing different recalibrated methods for estimating mean radiant temperature in outdoor environment. *Building and Environment*, 216, 109004. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109004>

Pattacini, L. (2012). Climate and urban form. *Urban Design International*, 17, 106–114. <https://doi.org/10.1057/udi.2012.2>

Shafaghat, A., Manteghi, G., Keyvanfar, A., Bin Lamit, H., Saito, K., & Ossen, D. R. (2016). Street geometry factors influence urban microclimate in tropical coastal cities: A review. *Environmental and Climate Technologies*, 17(1), 61–75. <https://doi.org/10.1515/rtuct-2016-0006>

Shankar, M., & Marwaha, B. M. (2023). Impact of courtyard on indoor thermal environment in vernacular row houses of warm and humid climate: case study of Kanyakumari, Tamil Nadu. *Advances in Building Energy Research*, 17(6), 653–678. <https://doi.org/10.1080/17512549.2023.2290529>

Shankar, M., & Sundaram, A. M. (2023). Efficient and optimum design of native architecture – A means for sustainability. Case study of Residential Units in Kottar, Kanyakumari. *Energy & Buildings*, 298, 113586. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113586>

Sharmin, T., Steemers, K., & Humphreys, M. (2019). Outdoor thermal comfort and summer PET range: A field study in tropical city Dhaka. *Energy and Buildings*, 198, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.064>

Sun, C. Y. (2011). A street thermal environment study in summer by the mobile transect technique. *Theoretical and Applied Climatology*, 106, 433–442. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0444-6>

Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., & Theodosiou, T. (2017). Urban space's morphology and microclimatic analysis: A study for a typical urban district in the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece. *Energy and Buildings*, 156, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.066>

Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2020). Assessing the effect of the urban morphology on the ambient air temperature of urban street canyons under different meteorological conditions. Application in residential areas of Thessaloniki, Greece. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410, 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012005>

Vanossi, J. K., Rykaczewski, K., Middel, A., Vecellio, D. J., Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (2021). Improved methods for estimating mean radiant temperature in hot and sunny outdoor settings. *International Journal of Biometeorology*, 65, 967–983. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02131-y>

Yu, Z., Chen, S., Wong, N. H., Ignatius, M., Deng, J., He, Y., & Hii, D. J. C. (2020). Dependence between urban morphology and outdoor air temperature: A tropical campus study using random forests algorithm. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102200. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102200>

Zhou, H., Tao, G., Yan, X., & Sun, J. (2021). Influences of greening and structures on urban thermal environments: A case study in Xuzhou City, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 66, 127386. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127386>

Zhu, S., Chen, M., Lu, S., & Mai, X. (2022). Influence of Urban Geometry on Thermal Environment of Urban Street Canyons in Hong Kong. *Buildings*, 12(11), 1836. <https://doi.org/10.3390/buildings12111836>