

MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Nicole Alves Oliveira

**A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma
região do semiárido Norte Mineiro**

**Montes Claros
2021**

Nicole Alves Oliveira

A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido Norte Mineiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Stanley Schettino

Montes Claros
22 de Julho de 2021

Oliveira, Nicole Alves.

O48i
2021 A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido norte mineiro [manuscrito] / Nicole Alves Oliveira. Montes Claros, 2021. 59 f.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Ciências Florestais. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Stanley Schettino.

Banca examinadora: Stanley Schettino, Luciano José Minette, Rúbia Santos Fonseca.

Inclui referências: f. 25-29; f.53-58

1. Florestas urbanas -- Teses. 2. Sustentabilidade e meio ambiente -- Teses. 3. Climatologia urbana -- Teses. I. Schettino, Stanley. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 630



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 22 dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e um, às 09:00 horas, sob a Presidência do Professor Stanley Schettino, D. Sc. (Orientador - UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Rubia Santos Fonseca, D. Sc. (UFMG/ICA) e Luciano José Minette, D. Sc. (UFV), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de Defesa de Dissertação de **NICOLE ALVES OLIVEIRA**, aluna do Curso de Mestrado em Ciências Florestais. Após a avaliação da referida aluna, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa da Dissertação intitulada: **“A INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO CONFORTO TÉRMICO URBANO EM UMA REGIÃO DO SEMIÁRIDO NORTE MINEIRO”**, sendo a aluna considerada **APROVADA**. E, para constar, eu, Professor Stanley Schettino, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 74 do regulamento do Curso de Mestrado em Ciências Florestais, conforme apresentado a seguir:

Art. 74 – Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do colegiado do Curso, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 22 de julho de 2021.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Stanley Schettino, Professor do Magistério Superior**, em 22/07/2021, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luciano José Minette, Usuário Externo**, em 22/07/2021, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rubia Santos Fonseca, Membro**, em 22/07/2021, às 14:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0846335** e o código CRC **D5C28676**.

A INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NO CONFORTO TÉRMICO URBANO EM UMA REGIÃO DO SEMIÁRIDO NORTE MINEIRO

RESUMO

A cobertura vegetal urbana realiza serviços ecossistêmicos importantes como: aumentar a biodiversidade, melhorar a qualidade do ar, proporcionar maior conforto térmico, reduzir a climatização artificial, proporcionar consequências positivas à saúde humana e melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas. No semiárido Norte Mineiro, região com elevadas taxas de insolação, altas temperaturas e baixas amplitudes térmicas, há a necessidade de compreender os efeitos benéficos da vegetação sobre o conforto térmico, visto que, a vegetação é responsável pela amenização das temperaturas mais elevadas, entre outros benefícios, sendo um importante componente regulador da temperatura urbana. Assim, esse estudo objetivou caracterizar as diferenças entre as temperaturas de ilhas de calor e áreas com cobertura vegetal em ambientes urbanos. Especificamente, analisar as variáveis microclimáticas nestes ambientes, através de índices de conforto térmico; e determinar quais destas proporcionam maior influência no microclima, além de quantificar o nível de conforto térmico proporcionado pela cobertura florestal utilizando o Índice de Calor (IC) e o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). As variáveis amostradas foram sensíveis às épocas do ano e à presença ou não de cobertura vegetal, permitindo afirmar que a presença da vegetação contribui para a diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar. E conseqüentemente gera a redução dos valores de IC e ITU, gerando a melhoria do conforto térmico. Os resultados indicaram haver forte correlação positiva entre as variáveis ITU e IC, com a temperatura e umidade relativa do ar, indicando que acréscimos de temperatura ambiente, são responsáveis por acréscimos significativos nos valores dos índices. Já a umidade relativa do ar apresentou forte correlação negativa com o IC, indicando que a diminuição em seus valores, associada à elevação dos valores da temperatura do ar, contribui significativamente para a piora do IC. Concluiu-se que além das áreas verdes serem significantemente mais frias, o fato das espécies da região ser caducifólias não reduz a eficácia da melhoria do conforto térmico proporcionada pelas mesmas. A presença de árvores realiza uma diferença significativa e positiva ao conforto térmico urbano, provando que há razões positivas para arborização urbana da cidade de Montes Claros, MG, visando à amenização do clima semiárido e proporcionando um maior bem-estar social, qualidade de vida e sustentabilidade.

Palavras-chave: Florestas urbanas. Sustentabilidade ambiental. Clima urbano. Microclima. Qualidade ambiental.

THE INFLUENCE OF VEGETATION COVER ON URBAN THERMAL COMFORT IN A SEMIARID REGION OF NORTHERN MINAS GERAIS

ABSTRACT

Urban vegetation cover performs important ecosystem services such as: increasing biodiversity, improving air quality, providing greater thermal comfort, reducing artificial climatization, providing positive consequences for human health and improving life quality in urban areas. In the semiarid region in the North of Minas Gerais State, a region with high incidence of sunlight, high temperatures and low thermal amplitudes, there is a need to understand the beneficial effects of vegetation on thermal comfort, since the vegetation is responsible for easing higher temperatures, among other benefits, being an important regulating component of urban temperature. Thus, this study was aimed at characterizing the differences between the temperatures of heat islands and areas with vegetation cover in urban environments. Specifically, to analyze the microclimatic variables in these environments through thermal comfort indexes; and to determine which of these provide greater influence on the microclimate, and also to quantify the level of thermal comfort provided by the forest cover using the Heat Index (HI) and the Temperature and Humidity Index (THI). The variables sampled were sensitive to the seasons of the year, as well as to the presence of vegetation cover or not, allowing us to affirm that the presence of vegetation contributes to a decrease in temperature and to an increase in the air relative humidity. Consequently, it generates a reduction in HI and THI values, generating an improvement in thermal comfort. The results indicated that there is a strong positive correlation between the variables THI and HI, toward the temperature and the air relative humidity, indicating that increases in room temperature are responsible for significant increases in the values of the indexes. As to the air relative humidity, on the other hand, it showed a strong negative correlation toward the HI, indicating that the decrease in its values, associated with the increase in air temperature values, significantly contributes to the worsening of the HI. It was then concluded that, in addition to the green areas being significantly cooler, the fact that the species in the region are deciduous does not reduce the effectiveness of the improvement in the thermal comfort provided by them. The presence of trees makes a significant and positive difference to urban thermal comfort, proving that there are positive reasons for urban afforestation in the city of Montes Claros, MG, aiming at alleviating the semiarid climate and providing greater social well-being, life quality and sustainability.

Keywords: Urban forests. Environmental sustainability. Urban climate. Microclimate. Environmental Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Município de Montes Claros, Minas Gerais.....	34
Figura 2 - Localização dos pontos amostrais no perímetro urbano de Montes Claros, Minas Gerais	35
Figura 3 - Representação gráfica das diferenças de temperatura em locais com e sem cobertura vegetal nas Imediações do Parque Sagarana, município de Montes Claros, MG (Ponto Amostral 01)	41
Gráfico 1 - Estatísticas do Índice de Calor (IC) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de abril.....	44
Gráfico 2 - Estatísticas do índice de Calor (IC) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de setembro	44
Gráfico 3 - Estatísticas do índice de Temperatura e Umidade (ITU) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de abril.....	48
Gráfico 4 - Estatísticas do índice de Temperatura e Umidade (ITU) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de setembro.....	48
Quadro 1 - Critérios de classificação do Índice de temperatura e Umidade (ITU).....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos pontos amostrais.....	36
Tabela 2 - Níveis de alerta do Índice de Calor (IC) e suas consequências à saúde humana.....	38
Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos resultados das amostragens e dos cálculos dos índices de calor (IC) e de temperatura e umidade (ITU), nos meses de abril e setembro, em pontos com e sem cobertura vegetal (médias, valores mínimos e máximos).....	40
Tabela 4 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo, para os pontos amostrais considerando as médias de todas as medições	42
Tabela 5 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de IC nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de abril.....	45
Tabela 6 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de IC nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de setembro.....	45
Tabela 7 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de ITU nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de abril.....	49
Tabela 8 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de ITU nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de setembro.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3 REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Conforto térmico	12
3.2 Florestas urbanas	14
3.2.1 Conceituação.....	14
3.2.2 No contexto do semiárido	15
3.2.3 Vegetação e conforto térmico urbano.....	17
3.3 Ilhas de calor	18
3.4 Clima na região do semiárido (norte de MG)	20
3.5 Composição das florestas urbanas de Montes Claros – MG	21
3.5.1 Caracterização das espécies regionais	21
3.5.2 Fitossociologia das florestas urbanas de Montes Claros - MG	22
3.6 Índices de conforto térmico	23
3.7 Referências	25
4.1 Artigo - A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido Norte Mineiro	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS	59

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização, definido como o aumento da população das zonas urbanas em detrimento das rurais, vem ocorrendo no Brasil desde o início do século XX em todas as regiões e biomas do País, não sendo diferente no Cerrado norte mineiro. Na grande maioria dos casos, esse processo se dá a partir de um planejamento inadequado gerando crescimento desordenado, acompanhado da falta da infraestrutura capaz de garantir a mínima qualidade ambiental.

Muitos estudos sobre as mudanças ambientais globais têm destacado a importância do entendimento das vulnerabilidades da população frente aos impactos ambientais que devem se agravar, especialmente nas cidades (FERNANDES; MASIERO, 2020; KOWARICK, 2002; KASPERSON; KASPERSON; MARTINE, 2009; SATTERTHWAITTE, 2009; TURNER, 1995). Isso se dá como consequência do processo de urbanização desordenado, como vem ocorrendo na grande maioria das cidades, visto que modifica a utilização do solo e transforma a paisagem urbana, onde a cobertura vegetal vem sendo sistematicamente substituída pelo concreto, inclusive em áreas de expressiva sensibilidade ambiental.

A cobertura vegetal proporciona vários serviços ecossistêmicos que auxiliam na mitigação dos efeitos das ilhas de calor (UHI), formadas pelo processo de urbanização e redução das áreas de vegetação, auxiliando na elevação da qualidade de vida dos habitantes urbanos e da sustentabilidade das cidades (ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017). A transpiração das árvores promove resfriamento e umidificação dos ambientes onde estão inseridas, além de serem uma fonte para o fluxo de calor latente (ZHENG *et al.*, 2021).

A proporção de árvores e de construções influenciam diretamente nos efeitos de ilha de calor ou resfriamento térmico dos microclimas, e isso é devido à organização das estruturas urbanas, das áreas cobertas pelas sombras das árvores e da intensidade de radiação solar local. Ou seja, dependendo dos elementos e de seus arranjos, as construções podem proporcionar maior resfriamento que as árvores, por exemplo, grandes edifícios geram sombras grandes e por consequência um maior resfriamento que as árvores, porém, áreas que possuem uma significativa formação florestal geram grande resfriamento evaporativo que pode ser estendido por um raio maior de distância e principalmente à noite. É importante ressaltar que o resfriamento

depende das espécies arbóreas, da distribuição das mesmas e da extensão da área onde se encontram (WU, DOU, CHEN, 2019).

Com a formação das ilhas de Calor (UHI), vieram os impactos negativos para a saúde humana e habitabilidade das cidades (ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017). Isso se deve ao fato da impermeabilização das superfícies urbanas (ZHENG *et al.*, 2021), calor antrópico, disposição dos elementos urbanos, clima e localização geográfica (ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017) que geram ambientes quentes e sem locais para infiltração da chuva provocando o calor urbano (ZHENG *et al.*, 2021).

O efeito das UHIs é caracterizado pelo desenvolvimento de temperaturas mais altas, entre as faixas 3,4 a 4,5 °C, no meio urbano quando comparadas com as zonas rurais (ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017). Esse efeito é resultado da remoção da cobertura vegetal e por consequência da diminuição da evapotranspiração, aumentando a liberação de calor sensível (STONE *et al.*, 2010; ZHENG *et al.*, 2021). Esse aumento da liberação do calor sensível provoca grandes ondas de calor que atuam negativamente nos ecossistemas urbanos e conforto humano, além de auxiliarem no crescimento do consumo de eletricidade e água para resfriamento; (HATVANI-KOVACS *et al.*, 2016; ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017). Portanto, a presença ou ausência de florestas urbanas causam, respectivamente, grandes impactos positivos ou negativos para sociedade e sustentabilidade das cidades.

Estudos comprovaram que a presença de árvores em bairros residenciais melhora o conforto térmico de pedestres, através da diminuição da temperatura radiante média (T_{mrt}) e temperatura fisicamente equivalente (PET). O plantio de árvores em locais de uso comunitário promove maior conforto térmico e gera o resfriamento da temperatura local. Visto isso, é importante saber a eficácia do resfriamento vegetativo em diferentes ambientes urbanos, para que possam ser sugeridas estratégias de mitigação através do plantio de árvores e do planejamento urbano (SABRIN *et al.*, 2021). Ou seja, comprovada a importância da arborização urbana, recomenda-se que ocorra o balanço entre as áreas impermeabilizadas e áreas vegetadas nos planejamentos urbanos, para a construção de ambientes termicamente mais confortáveis e saudáveis (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar o efeito da cobertura vegetal na melhoria do conforto térmico em ambientes urbanos de um local com clima semiárido.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as variáveis microclimáticas nestes ambientes, através de índices de conforto térmico;
- Determinar quais destas proporcionam maior influência no microclima e quantificar o nível de conforto térmico proporcionado pela cobertura florestal.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser definido como o estado em que uma pessoa demonstra satisfação com a temperatura ambiente, que é percebido por sua pele, a qual percebe o calor ou o frio da mudança de temperatura local através do fluxo de ar (UGURSAL, CULP, 2013). Pode ser considerado também como a sensação de bem-estar que está interligada com condições ambientais como a temperatura ambiente, umidade relativa, velocidade do ar, níveis de radiação (JEONG; PARK; SONG, 2016) e taxa metabólica, que demonstra o calor absorvido pelo corpo (LUO *et al*, 2018). Cada pessoa possui um conforto térmico diferente, ou seja, as sensações variam entre os diferentes gêneros, raças, idades, pesos e outros fatores fisiológicos (LUO *et al*, 2018). Sendo assim, as condições climáticas de conforto são aquelas que proporcionam bem-estar à maioria dos indivíduos (JEONG; PARK; SONG, 2016).

Estudos comprovaram que houve um aumento relevante nas máximas e mínimas temperaturas, desde a década de 50, em todos os locais urbanizados do globo. Mas, há uma variabilidade termal nos diferentes ambientes urbanos, gerando microclimas, o que mostra que o calor experimentado pelas pessoas não é o mesmo dado pelas estações meteorológicas (NAZARIAN, LEE, 2021). Mas, as pesquisas sobre estresse por calor, em grande maioria, não utilizam dados coletados em tempo real e sim, estes dados de estações meteorológicas, gerando assim, estimativas menos realistas (NAZARIAN *et al.*, 2021).

A variação no tempo de exposição ao ar livre e sol pleno também não é levada em consideração, negligenciando assim as diferenças dos microclimas dos espaços internos e externos. Tais fatores climáticos, influenciam no comportamento, fisiologia e psicologia humana, gerando impactos negativos na saúde e bem-estar humanos (NAZARIAN, LEE, 2021).

O processo de urbanização é algo global e crescente (BEHNAM, BEYGI, BAKHTIAR, 2021; SOSA, CORREA, CANTÓN, 2017), visto isso, um estudo feito em Istambul, Turquia, demonstrou que há diferenças nas sensações térmicas em locais com cobertura artificial e cobertura natural, onde, ocorre um maior desconforto térmico nos locais com grande concentração de edificações, o que gera um alerta para as políticas públicas, pois, o desgaste causado pelos impactos ambientais gera zonas de

maior desconforto térmico (BEHNAM, BEYGI, BAKHTIAR, 2021). Tal aquecimento provoca na população estresse por calor, gerando problemas de saúde e até mesmo morte (NAZARIAN, LEE, 2021; WU, DOU, CHEN, 2019).

Devido às ilhas de calor que são formadas nas cidades, principalmente nas zonas centrais que contêm mais edificações (BACK *et al.*, 2021; BEHNAM, BEYGI, BAKHTIAR, 2021), as pessoas que moram nessas áreas têm sua saúde prejudicada, podendo até morrer com a exposição à altas temperaturas. Mesmo em países desenvolvidos como os Estados Unidos, a morte por ondas de calor, mata mais pessoas que desastres naturais (NAZARIAN *et al.*, 2021; NAZARIAN, LEE, 2021).

Com o crescimento das cidades e da população ocorre a retirada da vegetação e a selagem das superfícies (SOSA, CORREA, CANTÓN, 2017). Em consequência disso, ocorrem modificações climáticas nos aglomerados urbanos (WU, DOU, CHEN, 2019), provocadas pela falta de áreas verdes, que são: elevação da incidência de radiação solar direta e da temperatura do ar, redução da umidade, modificação da direção dos ventos, aumento da emissão de radiação de onda longa e alteração das chuvas (BACK *et al.*, 2021; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017). Tais modificações provocam desconforto térmico na população, que, para amenizar o calor, aumentam o consumo de energia com climatização (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017).

O processo de urbanização tem influenciado o comportamento climático, afetando a qualidade de vida da população. Algumas alterações na paisagem natural, como a redução das áreas verdes, a impermeabilização das superfícies urbanas por meio de pavimentação intensiva e a construção de edifícios, podem causar o aumento do calor antropogênico liberado para a atmosfera (BACK *et al.*, 2021; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017; SANTAMOURIS, 2015; SOSA, CORREA, CANTÓN, 2017; WU, DOU, CHEN, 2019).

A possibilidade de estar em um ambiente com clima favorável traz benefícios como conforto térmico, saúde e produtividade. E desde que o ar-condicionado foi inventado, a climatização interna tem sido proporcionada em larga escala nos ambientes urbanos, para a obtenção de temperaturas agradáveis nos espaços internos (LUO *et al.*, 2016). Porém, há um grande gasto de energia elétrica dedicada à climatização térmica (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017; LI *et al.*, 2017; LUO *et al.*, 2016; SOSA, CORREA, CANTÓN, 2017), devido ao uso de ventiladores e ar-condicionado (CAI *et al.*, 2020), principalmente em locais populosos e desenvolvidos como Estados Unidos, China e Europa (LUO *et al.*, 2016).

Esse aumento do uso de ar-condicionado em ambientes internos apresenta influência também no comportamento do usuário em ambiente externo. Pessoas habituadas ao uso de climatização artificial apresentam maior desconforto por calor no espaço aberto, assim, a aclimatação desses usuários é mais difícil tanto pelo histórico térmico quanto pela fisiologia (KRUGER, DRACH, 2017). Esse fato resulta no aumento da pressão por soluções urbanísticas de mitigação de calor em espaços públicos (KRUGER, DRACH, 2017; LI *et al.*, 2017).

Um dos principais fenômenos causados pelas mudanças microclimáticas nas cidades são as Ilhas de Calor Urbana (ICU), notadas pelo excessivo aumento das temperaturas do ar nas áreas centrais das cidades em relação às do ambiente rural (BACK *et al.*, 2021; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017; LI *et al.*, 2017). Tal ocorrência, além de gerar desconforto térmico, pode impactar na saúde da população, levando à morte por doenças cardiovasculares e respiratórias (WU, DOU, CHEN, 2019).

Dessa forma, é reforçada a necessidade de haver espaços urbanos adequados, capazes de reduzir as adversidades climáticas e oferecer ambientes que promovam qualidade de vida (FERNANDES, MASIERO, 2020).

3.2 Florestas urbanas

3.2.1 Conceituação

As zonas urbanas não são uma paisagem homogênea, possuem muitos elementos diferentes na sua composição, desde estruturas artificiais, como os prédios, à naturais, como as árvores (OUYANG *et al.*, 2020; WU, DOU, CHEN, 2019). As distribuições destes elementos nas cidades geram microclimas diferentes e para obter a regulação destas condições, é comprovado que a melhor opção é a combinação de ambos os elementos (WU, DOU, CHEN, 2019). Visto isso, é importante a presença de florestas urbanas, que são formações de árvores e outras plantas, que foram planejadas ou são remanescentes de florestas naturais, nas cidades (CHEN, JIM, 2008).

Foi comprovado que as árvores possuem a capacidade de melhorar (regulação microclimática) o microclima de onde estão inseridas, através da cobertura de áreas com suas sombras e evaporação que geram o resfriamento do ambiente. Quando se

tem uma formação florestal urbana, os efeitos positivos de resfriamento abrangem-se por um raio maior de espaço (WU, DOU, CHEN, 2019; LIU, HU, LIU, 2020), sendo assim, é positivo para as cidades terem parques, praças e locais verdes espalhados por toda sua extensão (CHEN, JIM, 2008).

A transpiração das árvores é um significativo fator a ser considerado, pois, gera efeitos de resfriamento (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; ZHENG *et al.*, 2021) e umidificação para as cidades. Como as paisagens urbanas são cobertas por concreto, as superfícies são majoritariamente impermeáveis, sendo assim, a vegetação urbana é cercada por áreas quentes e que absorvem muito calor latente, o que reduz a quantidade de água que chega às árvores e aumenta as taxas de transpiração das mesmas, modificando assim o potencial de resfriamento e umidificação que proporcionam ao ambiente urbano (ZHENG *et al.*, 2021).

Uma medida de desenvolvimento sustentável para as cidades, de acordo com a solicitação da ONU, é a inclusão de vegetação em espaços urbanos por possuir um efeito de mitigação das ilhas de calor, através do resfriamento que proporcionam (JIANG *et al.*, 2021; OUYANG *et al.*, 2020). Há estudos que relatam que a taxa de resfriamento proporcionado pelas sombras de prédios é maior que a proporcionada pela vegetação próxima, porém, no período noturno ocorre o contrário, as taxas de resfriamento geradas pela vegetação e parques é consideravelmente maior, sendo mais efetivas em cidades menores e conseqüentemente, menos urbanizadas (OUYANG *et al.*, 2020).

Ou seja, com o aumento das áreas com cobertura vegetal ocorre a diminuição da temperatura ambiente e isso melhora a qualidade de vida das pessoas, além de ser um recurso que deve ser considerado no planejamento urbano (DU *et al.*, 2016; OUYANG *et al.*, 2020; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017; WU, DOU, CHEN, 2019), pois, assegura cidades mais agradáveis e que possuem serviços ecossistêmicos oferecidos pela vegetação urbana (ZHENG *et al.*, 2021). Ou seja, cidades inteligentes são capazes de realizar a integração do desenvolvimento urbano crescente com a preservação ambiental e a sustentabilidade econômica (JIANG *et al.*, 2021).

3.2.2 No contexto do semiárido

O bioma Cerrado vem sofrendo muito com o desmatamento e expansão da urbanização, que leva a uma vegetação fragmentada, com redução de populações vegetais e espécies. A pavimentação das cidades promove interferências no solo, como a retirada das camadas superficiais e exposição de camadas profundas e isso, tem como consequência, um fator de dificuldade para o reestabelecimento da vegetação nativa (CALGARO *et al.*, 2015).

As áreas de vegetação em zonas urbanas no semiárido, além de terem a influência do clima quente, sazonalidade de chuvas e solos pobres, sofrem com as pressões antrópicas, como o trânsito, pedestres, atividades industriais e dos habitantes da cidade. E isso interfere na composição de espécies das florestas urbanas e gera variação entre diferentes comunidades de plantas espalhadas pela zona urbana (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020).

Como as árvores do cerrado são plantas tolerantes à fatores ambientais desfavoráveis e severos, um estudo constatou que não há diferença entre a estrutura e diversidade, mas, há diferença na composição das espécies, de agregados florestais do meio rural, periurbano e urbano de Montes Claros, MG, (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020). Porém, é uma comprovação que a urbanização provoca a seleção e dominância de espécies mais tolerantes, ao ambiente mais crítico e urbanizado, ao qual às espécies sensíveis não se adaptam (CALGARO *et al.*, 2015; FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020). Visto isso, fica entendido que o processo de urbanização provoca diferenças físicas e climáticas nos habitats (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020).

Áreas que sofreram modificações de urbanização apresentam uma significativa quantidade de espécies florestais pioneiras e redução das espécies sensíveis (CALGARO *et al.*, 2015) que pode ser justificado pela fragmentação do habitat natural para a construção das cidades, além disso, pode ocorrer uma elevação na inclusão de espécies exóticas (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020).

Diferentes estudos comprovam que a presença de vegetação em cidades de clima quente geram a redução da temperatura dos locais onde estão inseridas, gerando maior conforto térmico para a população, logo, para as regiões de clima quente é uma boa opção de mitigação das ilhas de calor formadas pelo processo de urbanização (SABRIN *et al.*, 2021).

3.2.3 Vegetação e conforto térmico urbano

O crescimento populacional e a migração rural geram uma maior urbanização e por consequência o aquecimento térmico das cidades (LI *et al.*, 2017), promovendo uma demanda de planejamento urbano para mitigar os impactos negativos causados pelas ilhas de calor (BACK *et al.*, 2021; BEHNAM, BEYGI, BAKHTIAR, 2021; LI *et al.*, 2017). Conforme aumenta o tamanho das áreas urbanizadas, há uma elevação de temperatura das ilhas de calor urbano de superfície, de até 7° C (LI *et al.*, 2017). Por causa dessa variação há uma dificuldade no estabelecimento de parâmetros para o conforto térmico em espaços abertos, devido às oscilações das variáveis climáticas e à variabilidade na composição dos espaços (NAZARIAN *et al.*, 2021).

As ilhas de calor urbano (UHI) são regiões onde a temperatura atmosférica e de superfície são mais altas nos centros urbanos que nas zonas rurais (LI *et al.*, 2017; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017). Os ambientes urbanizados geram ilhas de calor urbano independentemente do tamanho da cidade, porém, cidades pouco desenvolvidas possuem esse efeito reduzido. As ilhas de calor urbano são formadas por consequência do processo de urbanização, que realiza a retirada da vegetação (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017; WU, DOU, CHEN, 2019) e construção de ambientes pavimentados, isso gera o aumento do calor nestas áreas que faz com que ocorra um aumento do consumo de energia para climatização humana (BACK *et al.*, 2021; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017; LI *et al.*, 2017; SOSA, CORREA, CANTÓN, 2017), emissões de gases poluentes, prejuízos à saúde e conforto humano (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017).

Locais urbanizados possuem superfícies impermeabilizadas como ruas, concreto, telhados, estacionamentos, áreas industriais (BACK *et al.*, 2021) e estas acumulam uma grande quantidade de radiação, por isso aquecem em contraversão às áreas verdes, como gramados, árvores, parques e plantas em geral, possuem a habilidade oposta, realizam a redução do processo de aquecimento, recebendo a mesma quantidade de radiação (BACK *et al.*, 2021; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017), gerando efeitos de ilha fria, pela evapotranspiração e emissividade (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017).

Através das sombras produzidas pelas áreas verdes ocorre a redução do aquecimento direto do solo, isso demonstra a influência que áreas com cobertura

vegetal gera na redução da temperatura da terra e a qual as superfícies impermeáveis têm ação contrária (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017). Estudos comprovaram que há uma relação em que, superfícies seladas aumentam a temperatura e espaços verdes diminuem a temperatura, ou seja, mudar os aspectos das superfícies causam modificações nas condições bioclimáticas e bem-estar humano (BACK *et al.*, 2021; SABRIN *et al.*, 2021). Visto isso, os espaços verdes possuem a habilidade de mitigação dos efeitos de ilhas de calor urbano (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017).

Logo, as árvores são recursos importantes para o conforto, pois geram melhoria e equilíbrio microclimático por reduzir amplitudes térmicas, insolação direta, velocidade dos ventos (BACK *et al.*, 2021; ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017) e aumentar as taxas de evapotranspiração (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017). Em via de controle da temperatura ambiente, as plantas atenuam boa parte da radiação incidente, pela produção de sombras, sendo assim capaz de diminuir as temperaturas das superfícies sombreadas (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017). Demonstrada a importância das áreas verdes, é recomendado que a proporção entre as áreas impermeabilizadas e as áreas verdes sejam consideradas nos planejamentos urbanos, para a construção de ambientes mais agradáveis e saudáveis (ESTOQUE, MURAYAMA, MYINT, 2017).

3.3 Ilhas de calor

As ilhas de calor urbano (UHI) são regiões onde a temperatura atmosférica e de superfície são mais altas nos centros urbanos que nas zonas rurais (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; LI *et al.*, 2017; LIU, HU, LIU, 2020; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017; SOSA, CORREA, CANTÓN, 2017). Os ambientes urbanizados geram ilhas de calor independentemente do tamanho da cidade, porém, cidades pouco desenvolvidas possuem esse efeito reduzido (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; WU, DOU, CHEN, 2019), sendo que a diferença de temperatura entre os locais rurais e urbanos, pode chegar a ser 3,5 a 4.5 °C mais quente para os centros urbanos (ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017).

As UHIs são formadas por consequência do processo de urbanização, que realiza a retirada da vegetação para a construção de ambientes pavimentados, isso gera o aumento do calor nestas áreas (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; OUYANG *et al.*, 2020; WU, DOU, CHEN, 2019). Além disso, a composição dos

materiais urbanos, os arranjos geométricos das cidades, o clima e a localização geográfica também geram influência no comportamento das ilhas de calor formadas (LI *et al.*, 2017; WU, DOU, CHEN, 2019; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017). Sendo o aquecimento de superfície gerado pelas UHIs variável, condizente com os diferentes interferentes citados, conforme se aumenta o tamanho das áreas urbanizadas, há uma elevação de temperatura de UHI de superfície de até 7° C e o tamanho da zona urbanizada pode explicar até 87% da causa da variação das ilhas de calor de superfície (LI *et al.*, 2017).

O calor absorvido através da radiação solar é diferente para os dois componentes principais dos centros urbanos, as árvores e os prédios, onde, o arranjo de ambos os elementos de forma planejada interfere na liberação de calor sensível e no conforto térmico dos habitantes. Através disso, ocorre um controle do microclima e um resfriamento proporcionado pelas sombras de prédios, árvores ou florestas urbanas (WU, DOU, CHEN, 2019).

Devido aos problemas que as UHIs vêm causando, ocorreu a geração de uma demanda de estudos, relacionados aos seus impactos e formas de mitigação eficazes (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; LI *et al.*, 2017; WU, DOU, CHEN, 2019). E, têm chamado à atenção para as questões de planejamento urbano, pois, com o crescimento populacional e a migração rural ocorre maior urbanização e por consequência o aquecimento térmico dos polos urbanizados. Isso gera demanda de planejamento urbano para mitigar os impactos negativos causados pelas ilhas de calor (LI *et al.*, 2017), como o alto consumo de energia elétrica para climatização, emissões de gases poluentes, prejuízos à saúde e conforto humano (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; OUYANG *et al.*, 2020).

Uma das alternativas encontradas por diferentes estudos para a mitigação dos impactos negativos do aquecimento urbano é a presença de áreas verdes, que além de auxiliarem na redução de temperatura, também oferecem serviços ecossistêmicos e assim melhora a qualidade de vida dos habitantes e a sustentabilidade das cidades (DU *et al.*, 2016; OUYANG *et al.*, 2020; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017). Pois, com o amplo crescimento das cidades e populacional, a tendência é que as ilhas de calor urbano sejam intensificadas e, conseqüentemente, aumente os impactos negativos, como o consumo de energia para climatização (LIU, HU, LIU, 2020; OUYANG *et al.*, 2020;

3.4 Clima na região do semiárido (norte de MG)

A região do Norte de Minas Gerais, apresenta um clima savânico tropical, que recebe classificação de Köppen “As” (ALVARES *et al.* 2013; FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020) e se encontra no polígono das secas (BRASIL, 2017). As estações são bem distintas em secas e chuvosas, onde recebem médias pluviométricas de 900 a 1200 mm, precipitação total anual e médias de temperatura de 21 a 24 °C (ALVARES *et al.* 2013; FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020; COELHO *et al.*, 2017). Já o município de Montes Claros e regiões próximas, recebem a classificação de clima como tropical semi-árido (Bsh) (COELHO *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2007).

Devido à grande insolação recebida na região semiárida e pelo déficit hídrico, gera-se altas taxas de evapotranspiração e temperaturas variando entre 26 e 28 °C (ZANELLA, 2014). A estação chuvosa, devido à sazonalidade, tem duração de 3 a 5 meses e a estação seca obtém um período mais longo, de 7 a 9 meses ao ano (VIEIRA, 2003). No município de Montes Claros, as chuvas concentram-se do mês de Novembro a Janeiro (CAMINHAS, FONSECA, 2020; COELHO *et al.*, 2017) e o período de seca é de Junho à Agosto (CAMINHAS, FONSECA, 2020).

Há uma tendência de que a quantidade de dias frios só diminua com o passar dos anos, o que explicita o calor urbano em crescimento, que em conjunto com o ar seco e veranicos provocam impactos na conservação de água do solo e no bem-estar dos moradores locais (MARENCO *et al.*, 2011).

A variação de disponibilidade de água no semiárido interfere diretamente na vegetação local, provocando diferença de densidade, espécies recorrentes e plantas adaptadas ao clima severo. Visto isso, o clima local é tido como um importante fator da composição florística de regiões distintas (SANTOS *et al.*, 2007). É importante ressaltar que a região Norte Mineira encontra-se em uma faixa de transição de clima semiárido (característico do Nordeste) para úmido (característico da região sudeste) e tais diferenças geram modificação na paisagem vegetal e no clima (CAMINHAS, FONSECA, 2020; SILVA, 2016).

Visto isso, o Norte de Minas por estar em uma faixa de transição de biomas, pode apresentar tipos de climas diferentes, que pode ser o tropical semiúmido ou tropical semiárido. Isso é demonstrado pela presença de Caatinga e Cerrado na região, onde a primeira fitofisionomia tende para à semiaridez e a segunda para uma condição um pouco mais úmida (CAMINHAS, FONSECA, 2020; SILVA, 2016). Encontra-se

também a fitofisionomia de Mata Seca, que possui maiores exigências de solo e condições hídricas (SANTOS *et al.*, 2007).

3.5 Composição das florestas urbanas de Montes Claros – MG

3.5.1 Caracterização das espécies regionais

A região do Norte de Minas Gerais é composta por diferentes fitofisionomias, Cerrado, Mata seca, zona de transição de domínios Caatinga/Cerrado e Caatinga. Dentre elas, uma das que ganha destaque é a Mata seca ou Floresta Estacional Decidual, que possui vegetação própria e bem distinta. As espécies florestais mais recorrentes são: Anjico (*Anadenanthera colubrina*), Gonçalves-alves (*Astronium fraxinifolium*), Paineira (*Ceiba* spp.), Mutamba (*Guazuma ulmifolia*), Para-tudo (*Hortia arborea*), Jacarandá-ferro (*Machaerium acutifolium*), Braúna (*Melanoxylum braúna*), Feijão-cru (*Platymiscium floribundum*), Sabão-de-gentio (*Sapindus saponária*), Cajá (*Spondias mombim*), Pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*), Pitomba (*Talisia esculenta*), Pajeú (*Triplaris gardneriana*) e orelha-de-onça (*Zollernia ilicifolia*) (SANTOS *et al.*, 2007).

As características mais comuns dessas espécies são a decidualidade (perdem a grande maioria ou todas as folhas durante a estação seca), a possibilidade de apresentar estruturas e composição florística diferentes e adaptação em ambientes sazonais (OLIVEIRA, 2008). Neste domínio também podem ser encontradas espécies de outros domínios, como Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Anjico-branco (*Anadenanthera colubrina*), Pata-de-vaca (*Bauhinia cheilantha*) e Gameleira (*Ficus gomelleira*), que são espécies encontradas em muitos levantamentos em regiões da Caatinga (SANTOS *et al.*, 2007).

O Norte de Minas possui três domínios vegetais, sendo eles o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica (SILVEIRA, PASTORELLO, FONSECA, 2020). Já a cidade de Montes Claros está inserida no Bioma Cerrado (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020), o qual apresenta diferentes fitofisionomias e a da região é o Cerrado *sensu stricto*, que apresenta árvores baixas, inclinadas e tortuosas. Este Bioma é o que mais possui biodiversidade florística do planeta e também possui alto nível de endemismo (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020; MORANDI *et al.*, 2020), com plantas resistentes à perturbações e condições não favoráveis de clima e solo que gerou um

efeito de resiliência através de adaptações morfológicas, como cascas grossas, raízes profundas e sementes resistentes (CALGARO *et al.*, 2015; FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020).

As espécies do Cerrado são caracterizadas por terem tolerância a condições de clima e solo ruins, o que proporcionou o desenvolvimento de estratégias de sobrevivência. Nos fragmentos urbanos, há uma predominância de espécies pioneiras, pois, estas se adaptam melhor às condições antrópicas (CALGARO *et al.*, 2015; FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020). Também são plantas adaptadas ao déficit hídrico devido à baixa precipitação anual e má distribuição das chuvas (SANTOS *et al.*, 2007).

É muito comum encontrar na região a família Fabaceae, ela sempre está presente com muitas espécies em ocorrência e isso se deve por sua capacidade de adaptação às diferentes composições climáticas e edáficas. Visto isso, as condições do clima, solo e do microambiente em que a vegetação está inserida, influencia fortemente na composição florística de determinado local, ou seja, em ambientes urbanos pode haver um estabelecimento de espécies mais adaptadas para as condições locais (SANTOS *et al.*, 2007).

3.5.2 Fitossociologia das florestas urbanas de Montes Claros - MG

Em um estudo de composição florística, realizado em três níveis de sítios, urbanos, semiurbanos e rural do município de Montes Claros, MG, região de savana neotropical (Cerrado *sensu stricto*) foram encontradas árvores de 76 espécies distintas e 30 famílias, onde, as famílias mais abundantes foram Fabaceae e Vochysiaceae. Já as espécies mais reincidentes foram *Myracrodruon urundeuva* Alemao (Aroeira), *Astronium fraxinifolium* Schott (Gonçalo-Alves) e *Machaerium acutifolium* Vogel (Jacarandá-do-campo), sendo típicas do bioma Cerrado (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020).

Devido às diferenças estruturais dos ambientes urbanos e rurais, ocorre mudança quanto às espécies de árvores dominantes e *M. urundeuva* foi a espécie mais abundante na cidade de Montes Claros, sendo ela nativa da região e de crescimento rápido, ela é também uma espécie muito comum em locais urbanos. Espécies exóticas também estão bastantes presentes na cidade, sendo o *Eucaliptus* sp. e a *Manguifera indica* (Mangueira) as mais observadas. Foi constatado que, as árvores nativas são

mais abundantes que as exóticas na zona urbana, principalmente as generalistas tolerantes, por se adaptarem bem às condições extremas (FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020).

Em outro estudo também realizado na região, no Parque Municipal da Sapucaia, foram listadas 69 espécies de 58 gêneros e 29 famílias (SANTOS *et al.*, 2007). A família Fabaceae foi predominante com 19 espécies, seguida pelas famílias Anacardiaceae, Bignoniaceae, Malvaceae e Myrtaceae, que apresentaram quatro espécies cada e Sapindaceae com três espécies. As árvores mais abundantes foram *Myracrodruon urundeuva*, *Anadenanthera colubrina*, *Bauhinia cheilantha* e *Ficus gomelleira*, que são comumente encontradas em regiões de Caatinga. Houve também o registro de espécies comuns em outras fitofisionomias como *Astronium fraxinifolium*, *Cariniana estrellensis*, *Casearia rupestris*, *Cecropia pachystachya*, *Cedrela fissilis*, *Copaifera langsdorffii*, *Diospyros brasiliensis*, *Genipa americana*, *Lecythis pisonis*, *Lithraea molleoides*, *Maclura tinctoria* e *Talisia esculenta* (SANTOS *et al.*, 2007).

No presente Parque, foram catalogadas espécies arbóreas generalistas, que ocorrem em diferentes formações vegetais, desde locais úmidos à secos, o que demonstra uma diversidade grande da composição florística do município. Algumas dessas árvores são *C. pachystachya*, *D. brasiliensis*, e *L. molleoides*. Espécies de ampla distribuição também ocorrem no local como a *Casearia rupestris*, *Copaifera langsdorffii*, *Guazuma ulmifolia*, *Machaerium hirtum*, *Machaerium scleroxylon* e *Maclura tinctoria* (SANTOS *et al.*, 2007).

Em um estudo realizado no Campus Regional da UFMG foram encontradas espécies dos três domínios do Norte de Minas, além de espécies exóticas e ameaçadas de extinção. A família que mais abundante foi também a Fabaceae com 30 espécies, seguida pela Arecaceae e Bignoniaceae com 13, Anacardiaceae com 11 e Myrtaceae com 7 (SILVEIRA, PASTORELLO, FONSECA, 2020).

3.6 Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico são amplamente utilizados para avaliar as mudanças climáticas e o conforto térmico em ambientes distintos, como locais abertos, fechados, vegetados ou não (KARIMI *et al.*, 2020). São ferramentas que utilizam dos dados meteorológicos de temperatura, ventos, umidade, radiação solar (CHOW *et al.*, 2016) da temperatura do ar, temperatura de superfície e outros fatores climáticos que

influenciam na formação das ilhas de calor (DAS, DAS, 2020; KARIMI *et al.*, 2020). Há também os fatores naturais que auxiliam na redução dos efeitos das ilhas como, a velocidade dos ventos, que pode ser levada em consideração em alguns índices (CHOW *et al.*, 2016).

Alguns índices de estresse térmico e conforto térmico deixam de fora o fator humano, o que os deixa pouco eficientes na previsão do conforto térmico individual, isso se deve pelo fato de que o calor que as pessoas sentem, ser diferente do coletado pelas estações meteorológicas. Os fatores humanos e escolhas comportamentais como escolha das roupas, mobilidade, respostas fisiológicas, motivação pessoal e performance, sofrem influência direta do calor experimentado, que promove alterações de escolhas e comportamentos (NAZARIAN; LEE, 2021).

Existe uma infinidade de índices que podem ser utilizados para o conhecimento dos indicadores envolvidos na percepção térmica das ilhas de calor, e como as pessoas percebem seus efeitos, como os índices: temperatura fisiológica equivalente (PET), Índice de conforto térmico universal (UTCI ou TMRT), índice de calor (IC), Temperatura da superfície (Ts) (SABRIN *et al.*, 2021), Índice de Temperatura e Umidade (THI), Índice de desconforto (DI) e Temperatura Efetiva Padrão (SET), que utilizam de diferentes fatores térmicos ambientais em seus cálculos para avaliar o nível de conforto térmico externo (DAS, DAS, 2020).

O Índice de Calor (IC) é um dos índices menos complexos, para se encontrar a temperatura percebida pelas pessoas, que demonstra o calor sentido. Ele é calculado através de uma regressão múltipla e utilizam-se dados da temperatura do ar e a umidade relativa e geralmente, os valores obtidos, são sempre mais altos que o valor da temperatura medida. A classificação dos valores de IC calculados recebe faixas de classificação de “sem alerta”, “cuidado”, “extremo cuidado”, “perigo” e “perigo extremo”, onde são indicados os prováveis sintomas provocados pela exposição à aquelas temperaturas (AKTAS *et al.*, 2020).

Há também o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que é um dos índices mais relevantes para averiguar o nível de conforto térmico externo (OTC) e que foi considerado o melhor índice para avaliar a OTC em regiões de clima tropical (DAS, DAS, 2020). É calculado através de uma fórmula derivada da equação de Thom (1959) e foi muito utilizado em diversos estudos (DAS; DAS, 2020; CHOW *et al.*, 2016). Um deles demonstrou que há um limite de conforto, para as regiões de latitudes médias, onde 50% dos voluntários da pesquisa acharam agradável um clima com ITU entre as

faixas de 24° e 26° C, mas, passando de 26° C foi unânime a sensação de desconforto. Porém, embora largamente utilizado, este índice recebe críticas por não correlacionar a umidade muito bem e por ter faixas de conforto em temperaturas que não são comuns nos trópicos (CHOW *et al.*, 2016).

3.7 Referências

AKTAS, Y. D.; WANG, K.; ZHOU, Y.; OTHMAN, M.; STOCKER, J.; JACKSON, M.; HOOD, C.; CARRUTHERS, D.; LATIF, M. T.; D'AYALA, D.; HUNT, J. Outdoor Thermal comfort and building energy use potential in different land-use areas in tropical cities: case of Kuala Lumpur. **Atmosphere**, v. 11, 652, p. 1-17, 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BACK, Y.; BACH, P. M.; JASPER-TOENNIES, A. RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. A rapid fine-scale approach to modelling urban bioclimatic conditions. **Science Of The Total Environment**. v.756 , n. 143732, 2021.

BEHNAM, K.; BEYGI, H. H.; BAKHTIAR, F. Evaluation of the environmental impacts of urbanization from the viewpoint of increased skin temperatures: a case study from Istanbul, Turke., **Applied Geomatics**, p.1-14, 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Publicada resolução que amplia o semiárido: Matéria publicada hoje (05) traz a Resolução 115, que trata da inclusão de 73 municípios na sub-região. **SUDENE**, Brasília-DF, 5 dez. 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/noticias/dou-publica-resolucao-que-amplia-o-semiarido>> Acesso 4 ago. 2021.

CAI, H.; CUI, C.; ZHANG, X.; CAI, W.; DAÍ, J. Research on a hierarchical air balancing control method of variable air volume ventilation system. **Building and Environment**. v. 175, e106710, 2020.

CALGARO, H. F.; BUZETTI, S.; SILVA, L. R.; STEFANINI, L.; DE MIRANDA, L. P. M.; DE MORAES, M. A.; DE MORAES, M. L T. Natural distribution of tree species in areas with different levels of human disturbance and its relation with chemical properties of the soil. **Revista Árvore**. v.39, n.2, p.233-243, 2015.

CAMINHAS, F. G.; FONSECA, G. S. Characterization of the physical-natural formations and landscape potentials of Montes Claros in the North context of minas gerais. **Humboldt: Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**. v. 1, n. 1, 2020.

CHEN, W. Y.; JIM, C. Y. Ecology, Planning, and Management of Urban Forests. In: WENDY, Y.; CHEN, C. **Ecology, Planning, and Management of Urban Forests: International Perspectives**. 2008. p. 53-83.

CHOW, W. T. L.; AKBAR, S. N. B. A.; HENG, S.L.; ROTH, M. Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest. **Urban Forestry & Urban Greening**. v. 16, p. 62-75, 2016.

COELHO, P. A.; SANTOS, P. F.; PAULA, E. P.; APGAUA, D. M. G.; MADEIRA, B. G.; MENINO, G. C. O.; NUNES, Y. R. F.; SANTOS, R. M.; TNG, D. Y. P. Tree succession across a seasonally dry tropical forest and forest-savanna ecotone in northern Minas Gerais, Brazil. **Journal of Plant Ecology**. v.10, n. 5, p. 859–868, 2017.

DAS, M.; DAS, A. Exploring the pattern of outdoor thermal comfort (OTC) in a tropical planning region of eastern India during summer. **Urban Climate**. v. 34, e100708, 2020.

DU, S.; XIONG, Z.; WANG, YI-C.; GUO, L. Quantifying the multilevel effects of landscapecomposition and configuration on land surfasse temperature. **Remote Sensing of Environmet**. v. 178, p. 84-92, 2016.

ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y.; MYINT, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. **Science of the Total Environment**. v.577, p. 349-359, 2017.

FERNANDES, M. E.; MASIERO, E. Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais. **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**. v.12, 2020.

FREITAS, E. V. D.; VELOSO, M. D. M.; DE ARAÚJO, W. S. Urbanization alters the composition, but not the diversity and structure, of Neotropical savanna woody plant communities. **Folia Geobotânica**. v. 55, p. 95–108, 2020.

HATVANI-KOVACS, G.; BELUSKO, M.; SKINNER, N.; POCKETT, J.; BOLAND, J. Heat stress risk and resilience in the urban environment. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p.278-288, 2016.

JEONG, M.-A.; PARK, S.; SONG, G.-S. Comparison of human termal responses between the urban forest area and the central building district in Seoul, Korea. **Urban Forestry & Urban Greening**. v.15, p. 133-148, 2016.

JIANG, H.; JIANG, P.; WANG, D.; WU, J. Can smart city construction facilitate green total factor productivity? A quasi-natural experiment based on China's pilot smart city. **Sustainable Cities and Society**. v.69, e102809, 2021.

KARIMI, A.; SANAIIEIAN, H.; FARHADI, H.; NOROUZIAN-MALEKI, S. Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by diferente vegetation species and materials in a médium-sized urban park. **Energy Reports**. v. 6, p. 1670-1684, 2020.

KASPERSON, J. X.; KASPERSON, R.E.; TURNER, B. L. II (Eds.). **Regions at risk: Comparisons of Threatened Environments**. 1995.

KOWARICK, L. Viver em risco: sobre a vulnerabilidade no Brasil urbano. **Novos Estudos**, v. 63, n. 1, p. 9-29, 2002.

KRUGER, E., DRACH, P. *Quantificação dos impactos da climatização artificial na sensação térmica de transeuntes em termos de alterações no microclima. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana.* v. 9, p. 301- 312. 2017.

LI, X.; ZHOU, Y.; ASRAR, G. R.; IMHOFF, M.; LI, X. The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. **Science of the Total Environment.** v. 605, p. 426-435, 2017.

LIU, D.; HU, S.; LIU, J. Contrasting the performance capabilities of urban radiation field between three microclimate simulation tools Dalong. **Building and Environment.** v.175, e106789, 2020.

LUO, M.; DEAR, R.; JI, W.; BIN, C.; LIN, B.; OUYANG, Q.; ZHU, Y. The dynamics of thermal comfort expectations: The problem, challenge and implication. **Building and Environment.** v. 95, p. 322-329, 2016.

LUO, M.; WANG, Z.; KE, K.; CAO, B.; ZHAI, Y.; ZHOU, X. Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. **Building and Environment.** v. 131, p. 44–52, 2018.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; BESERRA, E.A.; LACERDA, F.F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MARTINE, G. Population dynamics and policies in the contexto of global climate change. In: GUZMAN, J. M.; MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G.; SCHENSUL, D.; TACOLI, C. (Ed.). **Population dynamics and climate change.** New York/London: UNFPA/IIED, 2009, p. 9-30.

MORANDI, P.S., MARIMON, B.S., MARIMON-JUNIOR, B.H. *et al.* Tree diversity and above-ground biomass in the South America Cerrado biome and their conservation implications. **Biodiversity and Conservation.** v. 29, n. 5, p. 1519–1536, 2020.

NAZARIAN, N.; LEE, J. K. W. Personal assessment of urban heat exposure: a systematic review. **Environmental Research Letters.** v.2021, 16 .

NAZARIAN, N.; LIU, S.; KOHLER, M.; LEE, J. K. W.; MILLER, C. CHOW, W. T. L.; ALHADAD, S. B. A.; MARTILLI, A.; QUINTANA, M.; SUNDEN, L.; NORFORD, L. K. Project Coolbit: can your watch predict heat stress and thermal comfort sensation?. **Environmental Research Letters.** v.16, n.3, 2021.

OLIVEIRA, P. E. A. M. Fenologia e biologia reprodutiva de espécies do Cerrado. In: Sano, S. M., *et al.* **Cerrado: Ecologia e flora.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 273- 290, 2008.

OUYANG, W.; MORAKINYO, T. E.; REN, C.; NG, E. The cooling efficiency of variable greenery coverage ratios in different urban densities: A study in a subtropical climate. **Building and Environment,** v. 174, p. 106772, 2020.

SABRIN, S.; KARIMI, M.; NAZARIA, R.; PRATT, J.; BRYK, J. Effects of different urban-vegetation morphology on the canopy-level thermal comfort and the cooling benefits of shade trees: case-study in Philadelphia. **Sustainable Cities and Society**. v. 66, e102684, 2021.

SANTAMOURIS, M. Regulating the damaged thermostat of the cities - Status, impacts and mitigation challenges. **Energy and Building**. v.91, p. 43-56. 2015.

SANTOS, R. M.; VIEIRA, F. A.; GUSMÃO, E.; NUNES, Y. R. F. Florística e estrutura de uma floresta estacional decidual, no parque municipal da sapucaia, Montes Claros (MG). **Cerne**. v. 13, n. 3, p. 248-256, 2007.

SATTERTHWAITE, D. The implications of population growth and urbanization for climate change. In: GUZMAN, J. M.; MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G.; SCHENSUL, D.; TACOLI, C. (Ed.). **Population dynamics and climate change**. New York/London: UNFPA/IIED, 2009, p. 45-63.

SILVA, M. L. Mapeamento de superfícies aplainadas no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 09, n. 02, p. 526-545, 2016.

SILVEIRA, J. E.; PASTORELLO, C. E. S. P.; FONSECA, R. S. Aspectos florísticos e ecológicos do campus regional da Universidade Federal de Minas Gerais em Montes Claros - MG. **RevSbau. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v. 15, n. 3, p. 28-41, 2020.

SOSA, M. B.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Urban grid forms as a strategy for reducing heat island effects in arid cities. **Sustainable Cities and Society**. v. 32, p. 547–556, 2017.

STONE, B.; HESS, J. J.; FRUMKIN, H. Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities. **Environmental Health Perspectives**. v.118, n. 10, p. 1425 – 1428, 2010.

THOM, E. C. Cooling degree-day air conditioning, heating and ventilating. **Transactions of the ASAE**, v. 55, n. 7, p. 65-72, 1959.

UGURSAL, A.; CULP, C. H. The effect of temperature, metabolic rate and dynamic localized airflow on thermal comfort. **Applied Energy**. v. 111, p. 64-73, 2013.

VIEIRA, V.P.P.B. Desafios da gestão integrada de recursos hídricos no semiárido. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8, n.2, p.7-17, 2003.

WU, Z.; DOU, P.; CHEN, L. Comparative and combinative cooling effects of different spatial arrangements of buildings and trees on microclimate. **Sustainable Cities and Society**. v. 51, 2019.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**. v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZHANGA, X; ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y. An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables. **Sustainable Cities and Society**. v.32, p. 557–568, 2017.

ZHENG, S.; GULDMANN, J-M.; WANG, Z.; QIU, Z.; HE, C.; WANG, K. Experimental and theoretical study of urban tree instantaneous and hourly transpiration rates and their cooling effect in hot and humid area. **Sustainable Cities and Society**. v. 68, 2021.

4 ARTIGO

4.1 Artigo - A influência da cobertura vegetal no conforto térmico urbano em uma região do semiárido Norte Mineiro

RESUMO

Esse estudo objetivou caracterizar as diferenças entre as temperaturas de ilhas de calor e áreas com cobertura vegetal em ambientes urbanos. Especificamente, analisar as variáveis microclimáticas nestes ambientes, através de índices de conforto térmico; e determinar quais destas proporcionam maior influência no microclima, além de quantificar o nível de conforto térmico proporcionado pela cobertura florestal utilizando o Índice de Calor (IC) e o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). As variáveis amostradas foram sensíveis às épocas do ano e à presença ou não de cobertura vegetal, permitindo afirmar que a presença da vegetação contribui para a diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar. E conseqüentemente gera a redução dos valores de IC e ITU, gerando a melhoria do conforto térmico. Os resultados indicaram haver forte correlação positiva entre as variáveis ITU e IC, com a temperatura e umidade relativa do ar, indicando que acréscimos de temperatura ambiente, são responsáveis por acréscimos significativos nos valores dos índices. Já a umidade relativa do ar apresentou forte correlação negativa com o IC, indicando que a diminuição em seus valores, associado à elevação dos valores da temperatura do ar, contribui significativamente para a piora do IC. Concluiu-se que além das áreas verdes serem significativamente mais frias, o fato das espécies da região ser caducifólias não reduz a eficácia da melhoria do conforto térmico proporcionada pelas mesmas. A presença de árvores realiza uma diferença significativa e positiva ao conforto térmico urbano, provando que há razões positivas para arborização urbana da cidade de Montes Claros, visando à amenização do clima semiárido e proporcionando um maior bem-estar social, qualidade de vida e sustentabilidade.

Palavras-chave: Florestas urbanas. Sustentabilidade vegetal. Clima urbano. Microclima. Qualidade ambiental.

ABSTRACT

This study was aimed at characterizing the differences between the temperatures of heat islands and areas with vegetation cover in urban environments. Specifically, to analyze the microclimatic variables in these environments through thermal comfort indexes; and to determine which of these provide greater influence on the microclimate, in addition to quantifying the level of thermal comfort provided by the forest cover using the Heat Index (HI) and the Temperature and Humidity Index (THI). The variables sampled were sensitive to the seasons of the year, as well as to the presence or not of vegetation cover, allowing us to affirm that the presence of vegetation contributes to a decrease in temperature and an increase in the air relative humidity. Consequently, it generates a reduction in HI and THI values, generating an improvement in thermal comfort. The results indicated that there is a strong positive correlation between the variables THI and HI, toward the temperature and the air relative humidity, indicating that increases in room temperature are responsible for significant increases in the values of the indexes. As to the air relative humidity, on the other hand, it showed a strong negative correlation toward the HI, indicating that the decrease in its values, associated with the increase in air temperature values, significantly contributes to the worsening of the HI. It was then concluded that, in addition to the green areas being significantly cooler, the fact that the species in the region are deciduous does not reduce the effectiveness of the improvement in the thermal comfort provided by them. The presence of trees makes a significant and positive difference to urban thermal comfort, proving that there are positive reasons for urban afforestation in the city of Montes Claros, aiming at alleviating the semiarid climate and providing greater social well-being, life quality and sustainability.

Keywords: Urban forests. Plant sustainability. Urban climate. Microclimate. Environmental Quality.

INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal proporciona vários serviços ecossistêmicos que abrangem os três pilares da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. Na função ambiental

um dos mais importantes serviços é a regulação climática que reduz o efeito de ilha de calor urbano e traz benefícios como a redução de problemas de saúde (USDA FOREST SERVICE, 2016).

A regulação do clima pela cobertura vegetal consiste em interferências nas condições climáticas próximas da superfície, como calor sensível e latente e, conseqüentemente, temperatura e umidade do ar. A quantidade de radiação que uma superfície absorve ou reflete resulta em um clima mais quente ou frio em determinada região. As florestas atuam na proporção equilibrada entre esse calor sensível e latente, por exemplo, em áreas desmatadas há alta liberação de calor sensível aumentando o aquecimento próximo a superfície. Em regiões com florestas densas, há maior quantidade de água líquida, o que requer o uso de mais energia solar na evapotranspiração e por consequência reduzindo o calor sensível e resfriando o ar (WEST *et al.*, 2011). Mas todo esse serviço está ameaçado pelo crescimento populacional desordenado.

Nas últimas décadas o processo de urbanização cresceu e se intensificou mudando cada dia mais a vegetação natural, transformando os espaços verdes em uma infraestrutura predominantemente cinza. Esse novo ambiente vem sofrendo com alterações climáticas que causam prejuízos a saúde e ao bem-estar da população. As principais alterações consistem na maior incidência de radiação solar direta, mudanças nos níveis de precipitações e redução da umidade (ABREU; LABAKI, 2010), o que converte o meio urbano em ilhas de calor.

O efeito de ilhas de calor urbano é caracterizado pelo desenvolvimento de temperaturas mais altas no meio urbano, quando comparadas à ilhas de florestas (SANTAMOURIS, 2013). Esse efeito é resultado da remoção da cobertura vegetal e por consequência da diminuição da evapotranspiração, aumentando a liberação de calor sensível (STONE *et al.*, 2010). Esse aumento da liberação do calor sensível provoca grandes ondas de calor. As ondas de calor atuam negativamente nos ecossistemas urbanos, conforto humano, aumentam o uso de eletricidade e água para resfriamento, alta poluição atmosférica, e são responsáveis principalmente por vários problemas de saúde que podem levar a doenças graves ou mortes (HATVANI-KOVACS *et al.*, 2016). Portanto, a presença ou ausência de ilhas de florestas urbanas causam, respectivamente, grandes impactos positivos ou negativos na sociedade.

A região do semiárido norte mineiro, que apresenta um clima savânico tropical (ALVARES *et al.* 2013; FREITAS, VELOSO, DE ARAÚJO, 2020), com estações bem

distintas em secas e chuvosas, elevadas temperaturas médias anuais, umidade do ar excessivamente baixa ao longo de todo o ano (ZANELLA, 2014) e vegetação adaptada a tais condições de clima severo (SANTOS *et al.*, 2007), reúne um conjunto de condições contribuir para a formação de ilhas de calor urbano e, conseqüentemente, para diminuição do bem-estar e da saúde da população.

Embora sob condições climáticas nem sempre favoráveis, é de se esperar que árvores presentes nestes ambientes interceptem a radiação solar, impedindo que sua totalidade atinja o solo ou as construções. Além disso o limbo foliar, por absorver grande parte da radiação, diminui o índice de refletância e, como consequência, a temperatura da superfície, impedindo que essa radiação se transforme em calor sensível (SHASHUA-BAR *et al.*, 2010), contribuindo para a melhoria do conforto térmico nos ambientes urbanos.

Dessa forma, este estudo objetivou caracterizar a influência da cobertura vegetal em ambientes urbanos na região do semiárido norte mineiro, analisando as variáveis microclimáticas nestes ambientes em comparação com aqueles ambientes sem cobertura vegetal, através de índices de conforto térmico.

MATERIAL E MÉTODOS

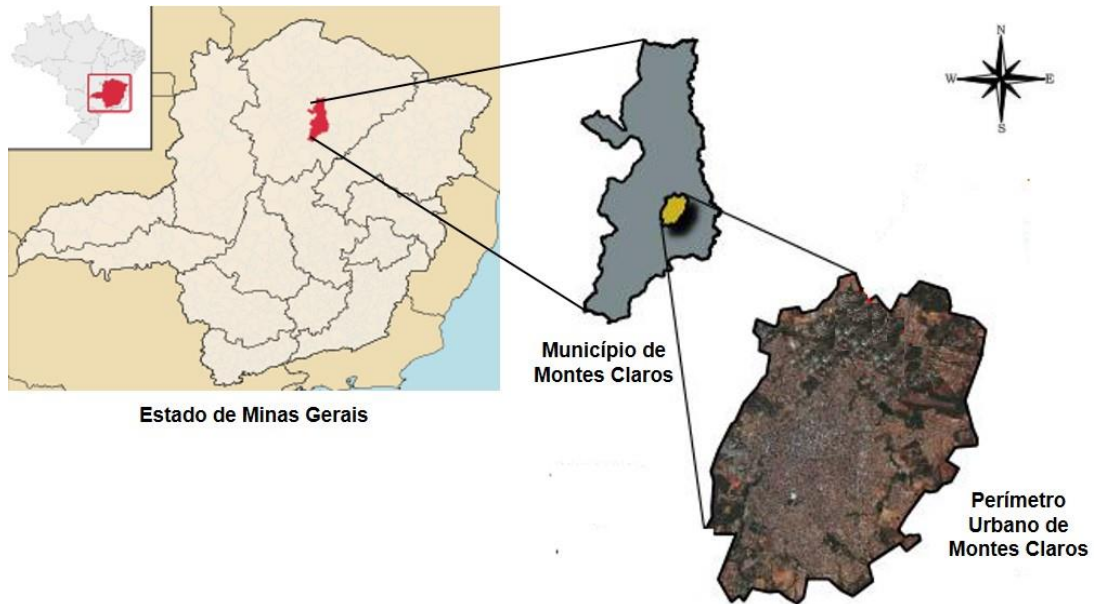
Área de estudo

Este estudo foi realizado na cidade de Montes Claros, Minas Gerais (16°44'06" S e 43°51'43" W), localizada a aproximadamente 422 km da capital, com uma altitude média de 678 m acima do nível do mar. O município de Montes Claros está localizado na Mesorregião Norte de Minas Gerais (Figura 1) e possui área de 3.589,811 km² (IBGE, 2020). A população urbana e a rural, em 2020, representavam aproximadamente 95% e 5% do total, respectivamente, para este período (IBGE, 2020), o que, de acordo com Leite *et al.* (2014), caracteriza a cidade por possuir um elevado índice de adensamento urbano.

O clima é caracterizado como tropical (tipo Aw, segundo a classificação de Köpen-Geiger), tendo invernos secos e amenos e verões chuvosos com temperaturas altas. De acordo com séries históricas (INMET, 2021), durante a estação seca é comum serem verificados índices de umidade relativa do ar extremamente baixos,

sendo comuns valores abaixo de 30%, ou ainda de 20%, muito abaixo dos 60% recomendáveis pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Figura 1 - Município de Montes Claros, Minas Gerais



Fonte: Adaptado de SILVEIRA *et al.*, 2020.

Montes Claros possui clima tropical quente semiúmido, com verão quente e inverno seco, precipitação média de 1.082 mm, com temperatura média anual de 23,5 °C, com médias das máximas e mínimas pontuadas em 25,0 °C e 20,5 °C, respectivamente (LEITE, BRITO, 2011). Segundo dados históricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a menor temperatura registrada em Montes Claros desde 1961 foi de 5,8 °C, em julho de 2000. No mesmo período, a maior temperatura chegou a 40,4 °C, em outubro de 2020. Janeiro de 1961, com 956,6 mm, foi o mês de maior precipitação, tendo sido verificados, ao longo desse período, vários meses com precipitação igual a zero (INMET, 2021).

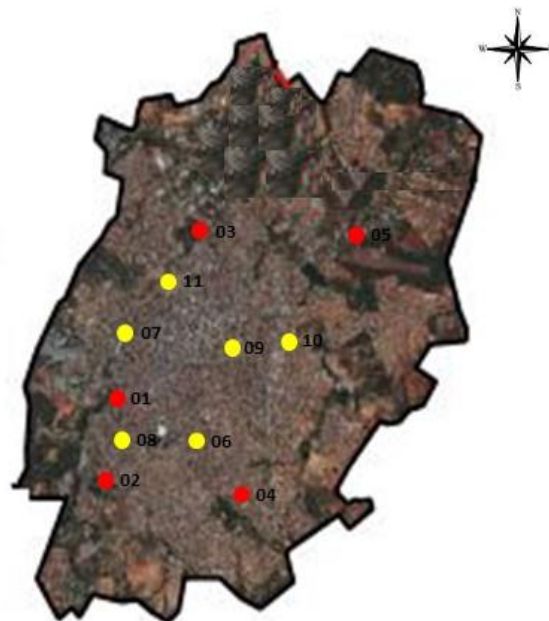
Predomina no município de Montes Claros a vegetação do tipo Cerrado *sensu strictu*, onde há ocorrências do Cerrado caducifólio e do Cerrado subcaducifólio, com árvores tortuosas, de cascas grossas e algumas árvores de porte médio, com presença de estrato arbustivo e subarbustivo denso, de composição florística muito variável. As árvores possuem alturas que variam de três a seis metros. Sua parte arbórea mostra de maneira geral, a fisionomia sempre verde, enquanto o estrato arbustivo-herbáceo

perde sua parte aérea na estiagem, rebrotando com o início das chuvas, o que é comum no planalto residual do São Francisco. A cobertura vegetal do município destaca-se por ser localizada na área de transição entre o Cerrado e a Caatinga (LEITE, BRITO, 2011).

Localização dos pontos amostrais

Foram amostrados 11 pontos localizados no perímetro urbano de Montes Claros (Figura 2 e Tabela 1), sendo que a escolha desses pontos amostrais atendeu aos seguintes critérios: presença de florestas urbanas (5 pontos) e áreas urbanizadas sem cobertura vegetal adjacente (6 pontos).

Figura 2 - Localização dos pontos amostrais no perímetro urbano de Montes Claros, Minas Gerais



Nota: Pontos Vermelhos (Com Cobertura Vegetal - CC) e Pontos Amarelos (Sem Cobertura Vegetal - SC).

Fonte: Adaptado de SILVEIRA *et al.*, 2020.

Tabela 1 - Descrição dos pontos amostrais

Ponto	Denominação	Localização ^{1/}	CV ^{2/}	Características
01	Parque Municipal Sagarana	16° 43" 45" O 43° 53" 00" S	Sim	Com área de 3,9 ha, apresenta estrutura para caminhadas e piqueniques. Contem, predominantemente, diversas espécies de árvores nativas da região do cerrado norte mineiro.
02	Parque Municipal Milton Prates	16° 45" 17" O 43° 53" 06" S	Sim	Com área de 19,6 ha, apresenta estrutura para caminhadas e piqueniques. Contém diversas espécies de árvores nativas da região do cerrado norte mineiro, além de outras espécies exóticas ao bioma cerrado
03	Reserva Instituto de Ciências Agrárias	16° 40" 53" O 43° 50" 38" S	Sim	Área de reserva biológica para conservação ambiental e pesquisas, contendo exclusivamente espécies da flora local em avançado estágio de regeneração natural.
04	Parque das Mangueiras	16° 44" 25" O 43° 51" 39" S	Sim	Apresenta área de 1,7 ha. Trata-se de área desapropriada pela prefeitura e convertida em área institucional/verde, com árvores de grande porte, porém esparsas.
05	Estrada de Acesso ao Aeroporto Mario Ribeiro	16° 42" 10" O 43° 49" 18" S	Sim	Área de Reserva Legal do aeroporto de Montes Claros, contendo exclusivamente, em seu interior, espécies da flora local. Na estrada de acesso ao aeroporto, existem vários indivíduos adultos de <i>Eucalyptus</i> sp plantados ao longo da mesma.
06	Rotatória da Estação Rodoviária	16° 44" 30" O 43° 52" 07" S	Não	Localizada na região sul da cidade, rodeada por construções comerciais e ruas asfaltadas, sem qualquer vegetação, com intenso fluxo de veículos pesados
07	Estacionamento da OAB	16° 43" 24" O 43° 52" 56" S	Não	Localizada na região centro-oeste da cidade, rodeada por construções comerciais e ruas asfaltadas, sem qualquer vegetação.
08	Rotatória da Praça dos Jatobás	16° 44" 10" O 43° 52" 07" S	Não	Localizada na região sul da cidade, rodeada por construções comerciais e ruas asfaltadas, sem qualquer vegetação em seu entorno.
09	Praça Doutor Carlos (Centro da Cidade)	16° 43" 23" O 43° 51" 55" S	Não	Localizada na região central da cidade, com intenso fluxo de veículos e pedestres, por causa da forte atividade comercial exercida nessa área. Apresenta vegetação esparsa com árvores de grande porte no lado oposto ao da amostragem.
10	Rotatória da BR 251 (Trevo Sion)	16° 43" 04" O 43° 50" 39" S	Não	Localizada na região centro-leste da cidade, rodeada por construções comerciais e ruas asfaltadas, sem qualquer vegetação, com intenso fluxo de veículos de todos os portes.
11	Campo Futebol do Bairro Santos Reis	16° 43" 24" O 43° 52" 56" S	Não	Campo de futebol amador, sem grama (piso de terra batida) e qualquer vegetação em seu entorno, sendo este cercado por construções habitacionais.

Nota: ^{2/} CV = cobertura vegetal. Nota:

Fonte: ^{1/} Google Earth, versão 9.132.0.6 (Google Inc., 2021).

Medição das variáveis ambientais

As medições das variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) foram feitas através de medidas contínuas (nos 11 pontos amostrais) utilizando-se um medidor de stress térmico (IBUTG), marca AKSO, modelo AK887, o qual fornece medições instantâneas sob qualquer condição meteorológica.

Foram realizados dois ciclos de medição durante o ano de 2020. O primeiro, em Abril, abrangendo a situação de verão quente e elevada umidade relativa do ar; e o segundo em Setembro, situação de temperatura elevada e baixa umidade relativa do ar.

Os dados de temperatura e umidade foram levantados sempre no horário das 13 às 14 horas, em todos os pontos amostrais, sempre em condição de céu aberto. Em cada ponto amostral (11 pontos) e em cada ciclo de medição (Abril e Setembro), foram coletadas 10 medidas de cada variável climática (temperatura e umidade relativa do ar).

De forma a ilustrar as supostas diferenças térmicas entre os locais com e sem vegetação, onde pertinente e possível foram obtidas fotografias termais dos locais de amostragem, com a utilização do aplicativo *Thermal Camera FX*, cujo efeito de câmera simula uma câmera de visão térmica / infravermelha de detecção de calor (sem valor científico, somente ilustrativo).

Descrição e cálculo dos índices

Para este estudo foram utilizados os índices de conforto térmico mais eficientes, segundo Barbirato *et al.* (2007) para ambientes abertos: o Índice de Calor (IC) e o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). O IC é um índice que combina a temperatura e a umidade relativa do ar para determinar uma temperatura aparente, que representa o quanto quente sentimos realmente. De acordo com Steadman (1979), a expressão para cálculo do IC é dada pela Equação 1 (há a necessidade de conversão do resultado de °F para °C). Na Tabela 2 são apresentados os níveis de alerta e as consequências para o ser humano.

$$IC = a + (b \cdot T) + (c \cdot UR) + (d \cdot T \cdot UR) + (e \cdot T^2) + (f \cdot UR^2) + (g \cdot T^2 \cdot UR) + (h \cdot T \cdot UR^2) + (i \cdot T^2 \cdot UR^2) \quad (1)$$

Em que: IC = Índice de Calor, em °F; T = temperatura do ar real (temperatura do bulbo seco), dada em °F; UR = umidade relativa do ar dada em %; a, b, c, ..., h, i = constantes, sendo: a = -42,379; b = 2,04901523; c = 10,14333127; d = -0,22475541; e = -6,83783.10⁻³; f = - 5,481717 x 10⁻²; g = 1,22874.10⁻³; h = 8,5282.10⁻⁴; i = -1,99.10⁻⁶.

Apesar de existirem índices de conforto térmico mais completos, que o ITU, este tem sido muito utilizado por envolver apenas informações meteorológicas, normalmente disponíveis, em estações meteorológicas e em bancos de dados obtidos a partir de imagens de satélite (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é comumente utilizado nos trópicos por sua praticidade e, além disso, é um dos índices utilizados para ambientes abertos que permitem quantificar o *stress* no ambiente urbano. É descrito como apresentado na Equação 2 e os critérios de classificação para este índice são apresentados no Quadro 1.

$$ITU = 0,8 \cdot Tar + \frac{U \cdot Tar}{500} \quad (2)$$

Nota: Em que: ITU = Índice de Temperatura e Umidade; Tar = temperatura do ar em graus Celsius; e U = umidade relativa do ar em %.

Tabela 2 - Níveis de alerta do Índice de Calor (IC) e suas consequências à saúde humana

Índice de Calor	Nível de Alerta	Síndrome de Calor (sintomas)
54°C ou mais	Perigo extremo	Insolação ou ação e risco de Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.
41,1 a 54°C	Perigo	Câimbras, insolação e provável esgotamento; possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
32,1 a 41°C	Cautela extrema	Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
27,1 a 32°C	Cautela	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
Menor que 27°C	Não há alerta	Não há problemas.

Fonte: NOAA's - The National Weather Service from United States, citado por QUEIROGA, 2019.

Quadro 1 - Critérios de classificação do Índice de temperatura e Umidade (ITU)

Nível de conforto	ITU
Confortável	Menor ou igual a 24
Levemente desconfortável	Entre 24,1 e 25,9
Extremamente desconfortável	Maior ou igual a 26

Fonte: BARBIRATO *et al.*, 2007.

Análises estatísticas

Para a comparação dos valores médios de IC e ITU nos pontos amostrais com e sem cobertura vegetal, em cada período de amostragem, foi empregada a análise de variância (ANOVA) e não houve necessidade de transformação dos dados. Adotado o intervalo de confiança de 95%, os valores foram considerados significativos quando $p < 0,05$.

Ainda, foi avaliado se os índices apresentavam associação entre si, com os valores de temperatura máxima, mínima e média do período de análise e com a presença ou ausência de vegetação no local de amostragem, tendo sido, para isso, obtido o grau de associação, efetuando-se a análise da matriz de coeficiente da correlação de Pearson (r), pelo teste t a 5% de probabilidade; sendo considerada correlação forte quando $r \geq |0,50|$, média quando $|0,50| > r > |0,30|$ e baixa quando $r \leq |0,30|$, de acordo com Cohen (1988).

As análises foram realizadas em ambiente *Excel*. Por sua vez, as análises estatísticas foram realizadas com a utilização do *software* SAS (*Statistical Analysis System*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises estatísticas

Após realizadas as medições de temperatura de bulbo seco (ou temperatura do ar) e da umidade relativa do ar, em 11 pontos amostrais (05 com cobertura vegetal e 06 sem cobertura vegetal), com 10 repetições cada, nos meses de Abril e Setembro, foram feitos os cálculos do Índice de Calor (IC) e Índice de Temperatura e Umidade

(ITU), as quais as estatísticas descritivas dos resultados são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos resultados das amostragens e dos cálculos dos índices de calor (IC) e de temperatura e umidade (ITU), nos meses de abril e setembro, em pontos com e sem cobertura vegetal (médias, valores mínimos e máximos)

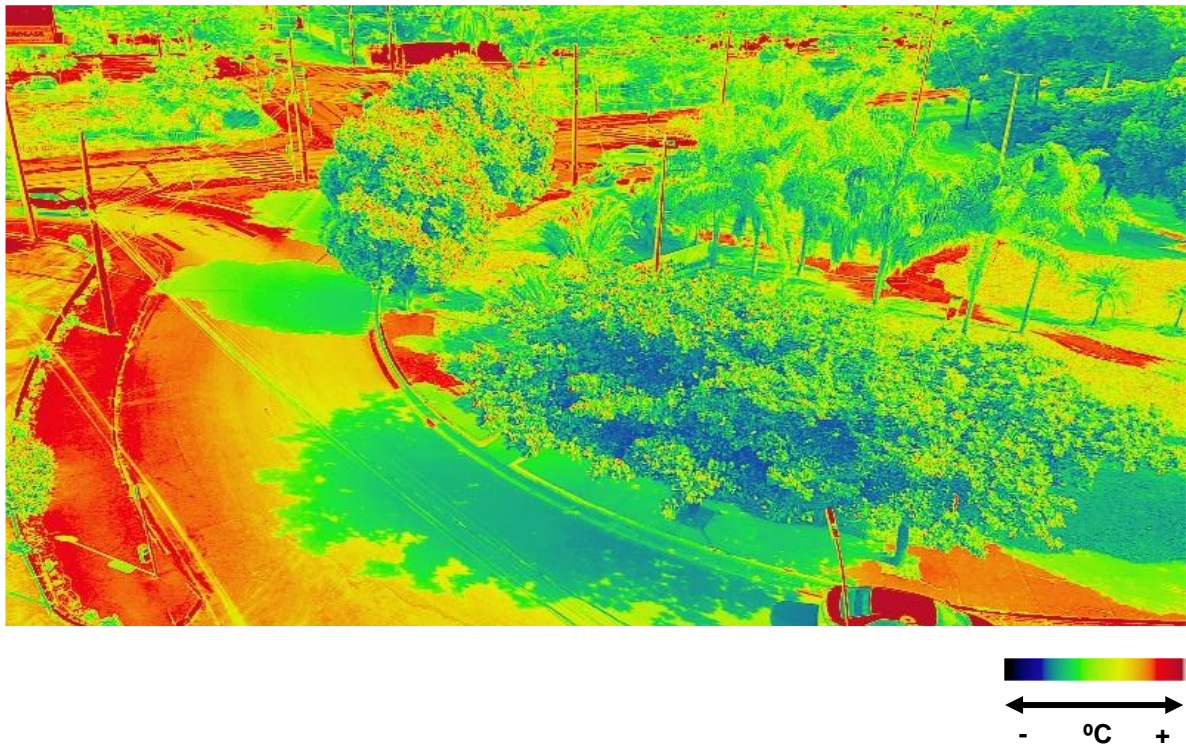
Época de Medição	Cobertura Vegetal	Temperatura Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)	Índice de Calor (IC)	Índice de Temperatura e Umidade (ITU)
Abril	Com cobertura	27,0 (25,9 - 28,0)	69,0 (63,1 - 78,0)	28,8 (27,2 - 30,7)	25,3 (24,3 - 26,3)
	Sem cobertura	30,5 (28,1 - 32,7)	62,1 (58,0 - 66,9)	34,6 (29,8 - 41,0)	28,2 (25,9 - 30,5)
Setembro	Com cobertura	32,8 (30,0 - 34,5)	51,8 (48,1 - 54,9)	36,0 (31,2 - 41,1)	29,4 (27,1 - 31,3)
	Sem cobertura	36,9 (34,0 - 40,0)	36,3 (33,1 - 39,5)	39,9 (34,4 - 47,5)	32,2 (29,7 - 35,0)

Fonte: Do Autor, 2021.

Esses valores demonstram a sensibilidade das variáveis amostradas em relação as épocas do ano e a presença ou não de cobertura vegetal. De maneira direta, permitem afirmar que a presença da cobertura vegetal contribui para a diminuição da temperatura do e aumento da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, a diminuição dos valores de IC e ITU, fatores que levam a melhoria do conforto térmico em ambientes urbanos na região do semiárido norte mineiro (Figura 3).

A justificativa para as áreas verdes reduzirem a temperatura local no raio onde estão inseridas, é de que promovem o efeito de ilha fria, devido aos seus processos fisiológicos, além da formação de sombras, que diminuem o aquecimento direto do solo pela radiação solar (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; SABRIN *et al.*, 2021). Em um estudo realizado em regiões tropicais da Índia, obtiveram-se como resultados valores de ITU mais baixos em locais com cobertura natural e as Umidades Relativas (UR) coletadas apresentaram-se maior em ambientes com vegetação (DAS; DAS, 2020), resultados semelhantes também foram encontrados por Aktas *et al.* (2020), que constataram que os processos de evapotranspiração da vegetação auxiliam no resfriamento térmico local com uma redução térmica bastante significativa, independente da estação ser seca ou chuvosa.

Figura 3 - Representação gráfica das diferenças de temperatura em locais com e sem cobertura vegetal nas Imediações do Parque Sagarana, município de Montes Claros, MG (Ponto Amostral 01)



Fonte: Do Autor, 2021.

Em outro estudo, realizado na Filadélfia, de análise dos benefícios de árvores nas ruas, foi constatado que a arborização urbana promove a melhoria do conforto térmico de pedestres e a redução da temperatura radiante média (SABRIN *et al.*, 2021). Na pesquisa de Ribeiro *et al.* (2015) foi constatado que há diferença entre os efeitos de resfriamento térmico de duas espécies florestais distintas, mas, também afirma que a presença das árvores auxilia na redução da temperatura e melhoria do conforto térmico.

A recomendação da inclusão de espaços verdes nas áreas urbanas, é feita em diferentes estudos, por ser um importante fator para o planejamento urbano e desenvolvimento das cidades, pela capacidade de mitigação dos efeitos de ilha de calor (UHI) e realização de serviços ecossistêmicos, além de melhorarem a qualidade de vida e saúde dos habitantes (SABRIN *et al.*, 2021; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017).

De forma a verificar a associação entre os índices avaliados, os valores de temperatura máxima, mínima e média do período de análise e a presença ou ausência de vegetação no local de amostragem, foi efetuada a análise da matriz de coeficiente da correlação (r) de Pearson, pelo teste t a 5% de probabilidade, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis de estudo, para os pontos amostrais considerando as médias de todas as medições

Variáveis	ITU ccv	ITU scv	IC ccv	IC scv	T ccv	T scv	UR ccv	UR scv
ITU ccv	1							
ITU scv	0,893*	1						
IC ccv	0,151	0,091	1					
IC scv	-0,244	0,213	0,800*	1				
T ccv	0,038	-0,166	0,684*	0,227	1			
T scv	0,192	0,765*	0,056	0,833*	0,146	1		
UR ccv	-0,212	0,192	-0,776*	0,618*	0,551*	-0,114	1	
UR scv	0,039	0,133	-0,656*	0,724*	0,097	0,515*	0,059	1

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t com 218 graus de liberdade.

ITU = Índice de Temperatura e Umidade; IC = Índice de Calor; T = Temperatura do ar; UR = Umidade relativa do ar; ccv = com cobertura vegetal; scv = sem cobertura vegetal.

Fonte: Do Autor, 2021.

Os resultados dessas análises indicaram haver forte correlação positiva entre as variáveis avaliadas (ITU e IC com a temperatura e umidade relativa do ar), indicando claramente que acréscimos de temperatura ambiente, isolada ou conjuntamente com diminuição nos valores da umidade relativa do ar, são responsáveis diretamente por acréscimos significativos nos valores de ITU e IC.

Em outra vertente, a umidade relativa do ar apresentou forte correlação negativa com o IC, indicando que a diminuição em seus valores, associada à elevação dos valores da temperatura do ar, contribui significativamente para a piora do IC.

Tal fato é corroborado com os resultados encontrados em outro estudo, onde a umidade relativa era reduzida em locais não arborizados e sua elevação ocorria em ambientes com presença de vegetação (DAS, DAS, 2020). Na pesquisa de Aktas *et al.* (2020) foi constatado que nas áreas com vegetação a percepção térmica pode ser de

até 5° C menor que em áreas construídas, o que comprova que a vegetação exerce o aumento da umidade local, através da evapotranspiração, e auxilia na redução da temperatura também.

O IC, quase sempre, apresenta valores maiores que os dados de temperatura, o que demonstra que o índice avalia de forma mais acurada a experiência de calor sentida pelas pessoas, por envolver a temperatura e a umidade relativa em seu cálculo, que permite uma melhor avaliação do conforto térmico. Visto isso, uma análise de conforto térmico baseada apenas na temperatura é uma análise subestimada e coloca as faixas de risco a cerca de 1,1 a 1,7° C abaixo do nível de tolerância (AKTAS *et al.*, 2020).

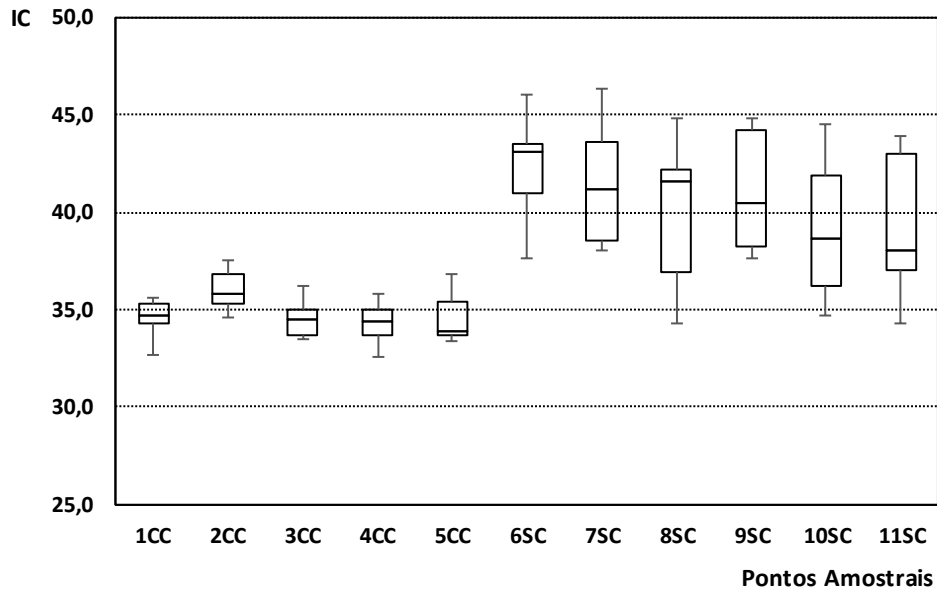
Índice de Calor (IC)

O IC relaciona o valor da temperatura do ar e a umidade relativa do ar para determinar quanto calor que os indivíduos sentem sob essa combinação (NÓBREGA, LEMOS, 2011). Ele também é conhecido como temperatura aparente, relacionando à temperatura aparente com o desconforto para os organismos (SILVA; STRECK, 2014).

Este foi criado relacionando valores de variáveis climatológicas com a sensação térmica sentida pelo organismo, partindo do princípio de que a umidade, muitas vezes, faz com que a temperatura aparente esteja mais quente do que a realidade (STEADMAN, 1979). Através do IC, é possível estimar a sensação térmica que realmente é sentida em um ambiente sob diferentes combinações de temperaturas e umidades relativas.

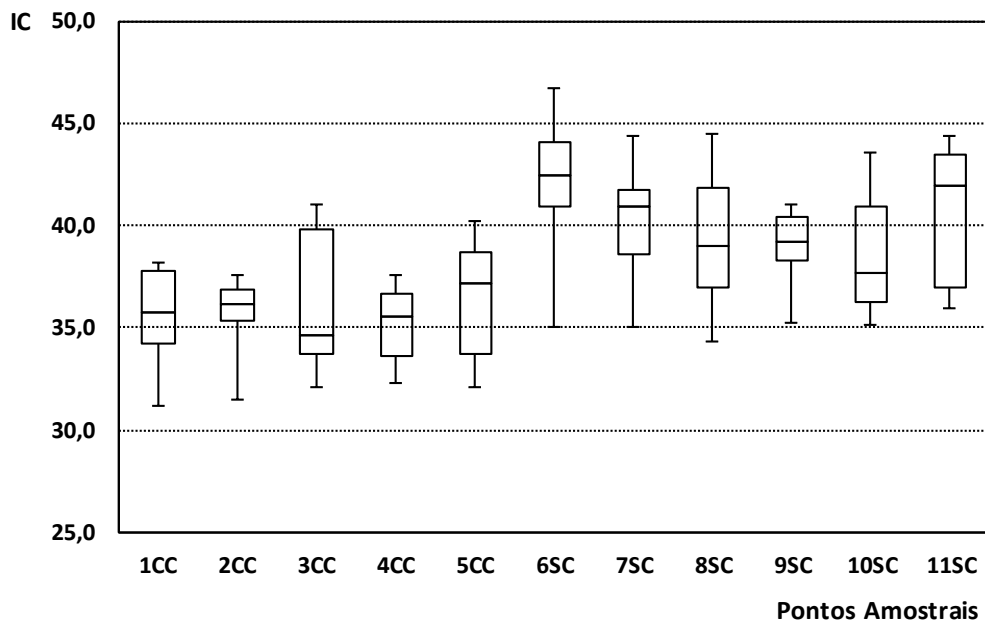
As estatísticas do comportamento dos Índices de Calor obtidos nas amostragens dos meses de Abril e Setembro, para os cinco pontos amostrais com cobertura vegetal (CC) e dos seis sem cobertura vegetal (SC), são apresentadas nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 - Estatísticas do Índice de Calor (IC) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de abril



Fonte: Do Autor, 2021.

Gráfico 2 - Estatísticas do índice de Calor (IC) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de setembro



Fonte: Do autor, 2021.

Os resultados da análise de variância (ANOVA), para as estimativas de IC realizadas em abril e setembro, são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de IC nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de abril

FV	SQ	g.l.	QM	F_{calc}	F_{tab}
Tratamento	10.748,79	10	1.074,88	67,19*	2,6
Resíduo	1.583,81	99	16,00		
Total	12.332,61	109			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor, 2021.

Tabela 6 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de IC nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de setembro

FV	SQ	g.l.	QM	F_{calc}	F_{tab}
Tratamento	5.303,86	10	530,39	34,49*	2,6
Resíduo	1.522,26	99	15,38		
Total	6.826,12	109			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor, 2021.

Tais resultados indicam, nas medições realizadas no mês de abril, que houve diferença significativa entre os locais com e sem cobertura vegetal. Os locais com cobertura vegetal receberam classificação de Cautela (IC médio de 28,8), enquanto aqueles sem cobertura receberam a classificação de Cautela Extrema (IC médio de 34,6).

Nas medições realizadas no mês de setembro, também houve diferença estatística significativa entre as médias de IC dos locais com e sem vegetação. Entretanto, os valores estimados do índice foram substancialmente maiores, para ambas as situações relativas a cobertura vegetal, quando comparadas com as do mês de abril. Os valores médios de 36,0 e 39,9 para os locais com e sem vegetação, respectivamente, os classificam, igualmente, com IC de Cautela Extrema. Tal fato se deve, principalmente, aos baixíssimos valores de umidade relativa do ar observados nas medições de setembro, principalmente nas áreas sem cobertura vegetal. Vale ressaltar que tais condições de umidade relativa do ar, nesta época do ano, são características inerentes a região de estudo (INMET, 2021).

As médias do Índice de Calor coletadas em ambos os períodos de amostragem apresentaram diferença estatística significativa entre os locais com cobertura e sem cobertura vegetal, indicando existir diferença de conforto térmico entre esses locais. Os resultados encontrados demonstram que mesmo na época seca, em que as árvores da região perdem grande parte ou todas as suas folhas, as áreas com cobertura vegetal geram influência positiva no conforto térmico da cidade, proporcionando redução de temperatura do ar e elevação da umidade relativa do ar, fatores que contribuem para a redução do IC.

Os achados de Freitas *et al.* (2013) em seus estudos corroboram com esses resultados ao relatarem que os pontos que apresentaram as maiores médias de temperatura e as menores taxas médias de umidade relativa do ar estavam localizados em locais com intensa área construída e sem árvores, evidenciando a importância da cobertura vegetal em áreas urbanas com vistas ao aumento do conforto térmico da população.

A presença de vegetação em ambientes urbanos contribui para o processo de evapotranspiração e absorção da radiação (SABRIN *et al.*, 2021) e, conseqüentemente, o balanço de energia de toda a cidade é modificado pela adição de mais superfícies evaporativas, resultando em mais radiação absorvida que pode ser dissipada na forma de calor latente e, finalmente, a redução da temperatura urbana (YU; HIEN, 2006).

Ainda, em outro estudo, Dacanal; Labaki; Silva (2010), ao compararem bosques urbanos com áreas sem vegetação, verificaram que nas áreas com cobertura vegetal, a temperatura do ar era mais baixa, a umidade relativa do ar era mais elevada, a velocidade do ar mais baixa e estável e a radiação solar significativamente atenuada, contribuindo para a estabilidade do microclima desses espaços ao longo do dia e, conseqüentemente, para o conforto térmico.

Corroborando os achados desta pesquisa, estudos diversos relatam o aumento da umidade das áreas com cobertura vegetal em relação às não vegetadas (DIMOUDI; NIKILOPOULOU, 2003; SATTERTHWAITTE, 2009; MARTINI; BIONDI, 2015; ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017), atribuindo à vegetação a capacidade de conservar a umidade no solo ao diminuir o aquecimento por reter a irradiação. A conservação da umidade pela vegetação pode ocorrer de três maneiras: evaporação física direta das chuvas, transpiração fisiológica das plantas - inversamente proporcional ao grau higrotérmico do ambiente - e a clorovaporização do vapor de água

durante a assimilação clorofílica de CO₂ atmosférico, por meio da ação dos raios solares. Além disso, a evaporação em campo aberto pode ser até dez vezes maior do que embaixo da copa das árvores (LLANDERT, 1982).

Desta forma, é possível afirmar que a cobertura vegetal em fragmentos florestais urbanos exerce, direta ou indiretamente, influência significativa na temperatura e umidade relativa do ar, importantes variáveis microclimáticas em nível local, independentemente da época do ano, contribuindo para a melhoria do conforto térmico em ambientes urbanizados na região do semiárido norte mineiro.

Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

As tratativas de conforto térmico urbano referem-se ao clima urbano que, segundo Monteiro (1976), se define como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, sendo um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos.

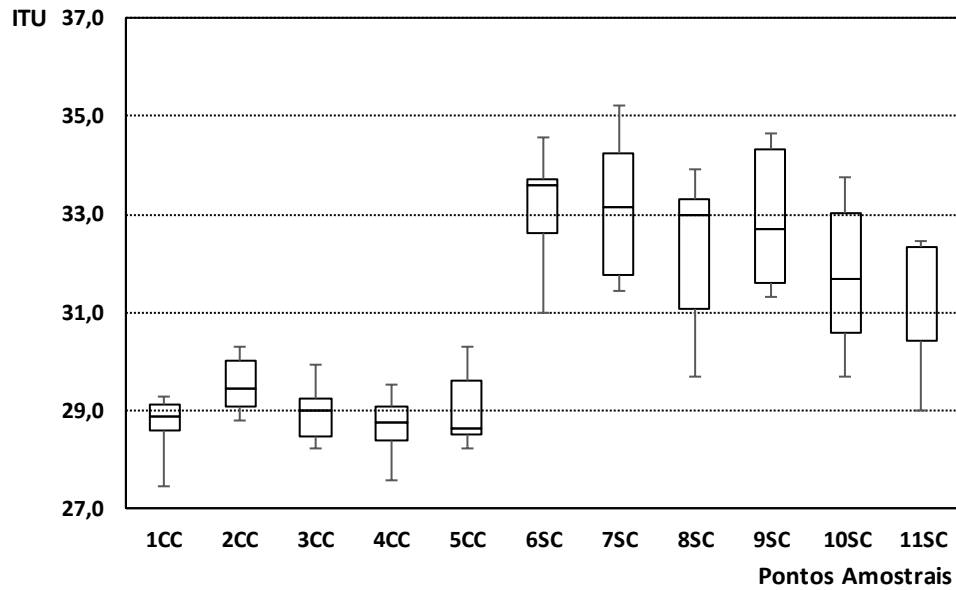
O conforto térmico pode ser definido como uma condição da mente que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico. Nesse sentido, o conforto térmico pode ser analisado como sendo as trocas térmicas que dependem de vários fatores, sejam eles ambientais e, ou, pessoais, comandados por processos físicos (FANGER, 1970).

Vários índices têm sido desenvolvidos para a predição do nível de conforto térmico ambiental, utilizando diferentes variáveis meteorológicas, tais como temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do ar, radiação, dentre outras (ABREU; LABAKI, 2010). Neste íterim, Thom (1959) desenvolveu o ITU que engloba, num único valor, os efeitos combinados da temperatura e da umidade relativa do ar.

O ambiente térmico, geralmente, engloba os efeitos da radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (FALCO, 1997; BAETA; SOUZA, 1997), sendo a combinação entre temperatura e umidade relativa do ar a principal condicionante para o conforto térmico.

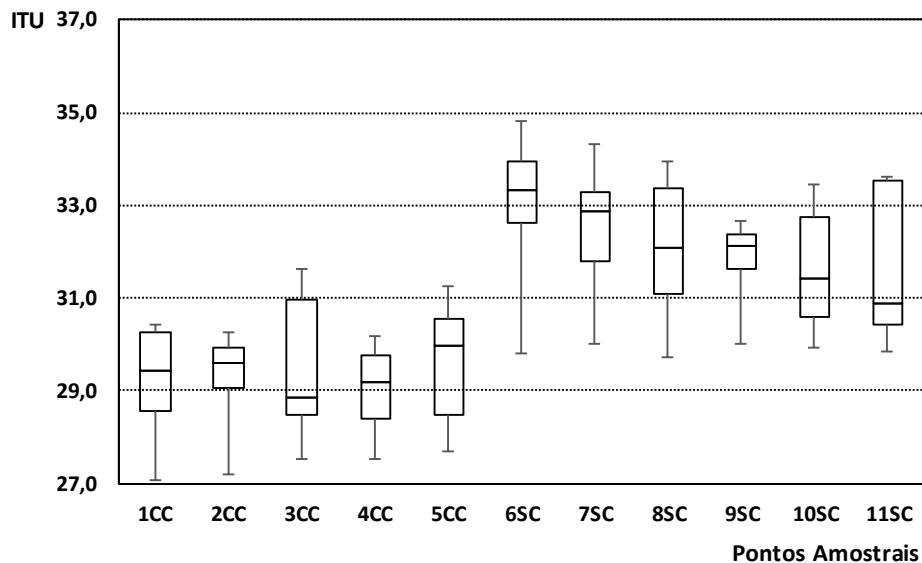
Dessa forma, as estatísticas do comportamento dos ITUs obtidos nas amostragens dos meses de abril e setembro, para os cinco pontos amostrais com cobertura vegetal (CC) e dos seis sem cobertura vegetal (SC), são apresentadas nos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 - Estatísticas do índice de Temperatura e Umidade (ITU) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de abril



Fonte: Do Autor, 2021.

Gráfico 4 - Estatísticas do índice de Temperatura e Umidade (ITU) para os pontos amostrais com e sem cobertura vegetal (CC e SC, respectivamente), na amostragem do mês de setembro



Fonte: Do Autor, 2021.

Os resultados da análise de variância (ANOVA), para as estimativas de ITU realizadas em abril e setembro, são apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

Tabela 7 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de ITU nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de abril

FV	SQ	g.l.	QM	F_{calc}	F_{tab}
Tratamento	2.656,32	10	265,63	72,45*	2,6
Resíduo	362,96	99	3,67		
Total	3.019,27	109			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor, 2021.

Tabela 8 - Resultados da análise de variância (ANOVA) para as estimativas de ITU nos pontos amostrais, com e sem cobertura vegetal, no mês de setembro

FV	SQ	g.l.	QM	F_{calc}	F_{tab}
Tratamento	2.528,46	10	252,85	58,56*	2,6
Resíduo	427,45	99	4,32		
Total	2.955,90	109			

Nota: * Significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do Autor, 2021.

As médias do ITU do mês de abril, época chuvosa na região do semiárido Norte Mineiro, apresentaram diferença estatística significativa entre as áreas com cobertura e sem cobertura vegetal. Isso demonstra que as áreas com e sem vegetação apresentam microclimas diferentes, ou seja, a temperatura e umidade de ambos os locais possuem uma distinção significativa em relação ao conforto térmico proporcionado para os cidadãos nesses locais.

Todas as áreas com cobertura vegetal receberam a classificação “Levemente Desconfortável”, com o menor valor médio de ITU igual a 25,0. Por sua vez, as áreas sem cobertura vegetal, com ITU médio de 27,7, receberam a classificação de “Extremamente Desconfortável”, o que indica possuírem um menor conforto térmico quando comparadas aos locais com presença de cobertura vegetal, gerando desconfortos e riscos à saúde da população.

No mês de setembro, época seca na região de estudo, onde, por características inerentes ao bioma onde esta se encontra inserida, grande parte das árvores são caducifólias (OLIVEIRA, 2008), mesmo assim ainda foram observadas diferenças significativas nos valores de ITU entre os ambientes com e sem cobertura vegetal. Nas

áreas com cobertura vegetal, observou-se um ITU médio de 29,4 e, naquelas sem cobertura vegetal, um valor médio igual a 32,2, o que as classifica como “Extremamente Desconfortáveis”.

Embora elevados, os valores apresentaram diferenças significativas entre si, indicando que, mesmo em situações de extremos climáticos, comuns à época para a região estudada (temperaturas elevadas e umidade relativa do ar criticamente baixa), a presença de cobertura vegetal ainda é responsável por amenizar o estresse ambiental e proporcionar, minimamente, uma melhoria no conforto térmico em ambientes urbanos.

Tal constatação comprova que locais com vegetação, sendo eles parques ou jardins que contenham grama, arbustos e árvores, possuem a habilidade de reduzir a temperatura, enquanto os ambientes selados realizam o efeito contrário, aumentando o aquecimento das superfícies com a absorção da radiação solar recebida (BACK *et al.*, 2021), corroborando os resultados encontrados, de que as áreas com cobertura vegetal apresentam temperaturas menores, mesmo na época seca, quando estas perdem suas folhas.

A temperatura de superfície da terra reduz conforme ocorre o aumento de área verde, enquanto que, se elevada a área das superfícies impermeabilizadas o inverso ocorre, podendo se verificar até 3^o C de diferença em áreas adjacentes (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017), fato comprovado pelos resultados deste estudo. Todas as áreas com cobertura obtiveram médias de temperatura bastante distintas em relação aquelas sem cobertura, tendo maiores diferenças nas medições do mês de abril, época chuvosa. Foram encontradas diferenças de 2,9 (ITU) no mês de abril e 2,8 (ITU) no mês de setembro, o que demonstra que além das áreas verdes serem significativamente menos quentes, a questão da perda das folhas das árvores nativas da região não reduz a eficácia da melhoria do conforto térmico proporcionada pelas mesmas.

A justificativa para as áreas verdes reduzirem a temperatura local no raio onde estão inseridas é de que promovem o efeito de ilha fria, devido aos seus processos fisiológicos, além da formação de sombras, diminuindo o aquecimento direto do solo pela radiação solar (ESTOQUE; MURAYAMA; MYINT, 2017; SABRIN *et al.*, 2021).

Ao avaliarem espécies florestais distintas, Ribeiro *et al.* (2015) constataram que a presença das árvores auxilia na redução da temperatura e melhoria do conforto térmico, mas verificaram diferença entre os efeitos de resfriamento térmico entre as

espécies estudadas. A vegetação ou as árvores, individualmente, proporcionam resfriamento do ar e conseqüentemente amenização dos efeitos de ilha de calor, porém, as espécies arbóreas presentes em cada local, o arranjo das estruturas urbanas, o clima local e os materiais de cobertura de superfície interferem na porcentagem de resfriamento, devendo ser levado em consideração nos estudos de planejamento urbano (SABRIN *et al.*, 2021).

Além desses fatores de influência, ainda há as variações proporcionadas pelos fatores de taxa de cobertura e distribuição florestal, que não se sabe ao certo se a relação é linear ou não linear, pois há poucas pesquisas na área e muitos estudos controversos, devido às diferentes metodologias utilizadas e até mesmo pela vegetação analisada, que pode ter sido somente árvores ou todos os tipos de plantas utilizadas no paisagismo urbano.

Alguns estudos conseguiram correlacionar uma proporção de resfriamento quanto ao aumento de porcentagem de cobertura vegetal, mas, obtiveram diferentes taxas de resfriamento para as cidades analisadas, variando de 0,12 a 2° C de redução de temperatura ambiente a cada 10% de aumento na cobertura vegetal (HAMADA; OHTA, 2010; MYINT *et al.*, 2013; MIDDEL; CHHETRI; QUAY, 2015; YAN; WU; DONG, 2018). Nessa linha de pesquisa, como conclusão de alguns estudos, foram recomendadas uma taxa de cobertura ideal para o resfriamento das cidades de médio porte na ordem de 40% em relação a sua área urbana total (OUYANG *et al.*, 2020).

Com base nesses reportes, corroborando os resultados encontrados neste estudo e, dada a forte concentração populacional nas cidades, as políticas ambientais urbanas brasileiras devem assumir um destaque especial no que se refere aos desafios de adaptação e mitigação das mudanças climáticas (OJIMA, 2009; MARTINS; FERREIRA, 2010; HARDOY; PANDIELLA, 2009), sendo que o planejamento, a implementação e a conservação de áreas verdes no âmbito das zonas urbanas deve ocupar lugar de destaque em tais políticas.

Nesse sentido, NUCCI (1996), aponta que o planejamento da paisagem é uma contribuição ecológica e de *design* para o planejamento do espaço, onde se procura uma regulamentação dos usos do solo e dos recursos ambientais, salvaguardando a capacidade dos ecossistemas e o potencial recreativo da paisagem, retirando-se o máximo proveito do que a vegetação pode oferecer para a melhoria da qualidade ambiental. Portanto, o planejamento da paisagem se apresenta como uma alternativa metodológica a fim de complementar o planejamento urbano, alternativa capaz de dar

subsídios para a melhoria da qualidade ambiental e conseqüentemente da qualidade de vida (UGEDA JUNIOR, 2014).

Desta forma, ao final das análises deste estudo, é possível perceber que a arborização urbana é uma necessidade atual inevitável, pois, com o constante crescimento das cidades gerando ilhas de calor, tem-se a elevação das temperaturas médias e a promoção de desconforto térmico para a população. As árvores e elementos vegetais possuem a capacidade de mitigar esses efeitos negativos, sendo um fator que deve ser considerado no planejamento urbano das cidades. Visto isso, a necessidade de melhorias do conforto térmico de qualidade com a utilização de vegetação urbana, de acordo com as necessidades do clima e da ocupação local, torna-se imperativa (OUYANG *et al.*, 2020).

Sendo assim, a presença de áreas verdes nos centros urbanos, além de contribuir para a melhoria da saúde pública, ainda auxiliam na redução do uso de energia para climatização, uma vez que proporcionam um resfriamento considerável onde estão inseridas.

Para a potencialização dos efeitos de ilha fria gerados pelas árvores e vegetação rasteira, recomenda-se a implantação de jardins e áreas florestadas ou arborização planejada ao longo das ruas das cidades, proporcionando assim, corredores de sombra que além de proporcionarem sombras para os pedestres, promovem a mitigação da radiação direta sobre as superfícies.

Áreas grandes, como parques e reservas florestais em centros urbanos possuem um maior efeito de resfriamento e atingem um raio mais amplo, sendo assim, é aconselhável o estudo, pelas políticas públicas, a construção e preservação destas áreas, por deterem um grande poder de mitigação dos efeitos da ilha de calor urbana.

CONCLUSÕES

A presença da cobertura vegetal em ambientes urbanos na região do semiárido norte mineiro contribui significativamente para a diminuição da temperatura do e aumento da umidade relativa do ar quando comparadas a áreas sem cobertura vegetal.

Como consequência direta, leva a diminuição dos valores de IC e ITU, levando a melhoria do conforto térmico em ambientes urbanos na região do semiárido norte mineiro, como esperado e comprovado com os resultados.

As análises indicaram haver forte correlação positiva entre a temperatura e umidade relativa do ar com os índices de conforto térmico, indicando claramente que acréscimos de temperatura ambiente, isolada ou conjuntamente com diminuição nos valores da umidade relativa do ar, são responsáveis diretos por aumentos significativos no estresse térmico desses ambientes urbanos.

Os resultados encontrados reforçam a importância da implementação, conservação e manutenção de áreas com cobertura vegetal nos ambientes urbanos na região do semiárido norte mineiro, pois são capazes de promover melhorias nas condições de conforto térmico e contribuir para a melhoria da qualidade de vida.

RECOMENDAÇÕES

Sendo assim, é recomendada a inclusão de espaços verdes nas áreas urbanas, por ser um importante fator para o planejamento urbano e desenvolvimento das cidades, pela capacidade de mitigação dos efeitos de ilha de calor (UHI) e serviços ecossistêmicos, além de melhorarem a qualidade de vida e saúde dos habitantes (SABRIN *et al.*, 2021; ZHANGA, ESTOQUE, MURAYAMA, 2017).

Sendo assim, considerando a elevada biodiversidade do bioma da região de estudo (OLIVEIRA; PIETRAFESA; BARBALHO, 2008), visando o planejamento do uso dos espaços urbanos com a utilização de cobertura vegetal como fator para redução do estresse térmico, fica evidenciada a necessidade de estudos em nível de espécies, de forma a otimizar os efeitos benéficos daquelas com maior potencial de melhoria do conforto térmico em áreas urbanas no semiárido Norte Mineiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010.

AKTAS, Y. D.; WANG, K.; ZHOU, Y.; OTHMAN, M.; STOCKER, J.; JACKSON, M.; HOOD, C.; CARRUTHERS, D.; LATIF, M. T.; D'AYALA, D.; HUNT, J. Outdoor Thermal comfort and building energy use potential in different land-use areas in tropical cities: case of Kuala Lumpur. **Atmosphere**, v. 11, 652, p. 1-17, 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BACK, Y.; BACH, P. M.; JASPER-TOENNIES, A. RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. A rapid fine-scale approach to modelling urban bioclimatic conditions. **Science Of The Total Environment**. v.756 , n. 143732, 2021.

BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios**. Maceió: EDUFAL, 2007.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. New Jersey: Lawrence Earlbaum Associates, 1998.

DACANAL, C. LABAKI, L. C.; SILVA, T. M. L. Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 115-132, 2010.

DAS, M.; DAS, A. Exploring the pattern of outdoor thermal comfort (OTC) in a tropical planning region of eastern India during summer. **Urban Climate**. v. 34, e100708, 2020.

DIMOUDI, A. NIKILOPOULOU, M.; Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69-76, 2003.

ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y.; MYINT, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: an urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. **Science of the Total Environment**. v.577, p. 349-359, 2017.

FALCO, J. E. **Bioclimatologia animal**. Lavras; UFLA, 1997.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FREITAS, A. F.; MELO, B. C. B.; SANTOS, J. S.; ARAÚJO, L. E. Avaliação microclimática em dois fragmentos urbanos situados no Campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 777-792, 2013.

FREITAS, E. V. D.; VELOSO, M. D. M.; DE ARAÚJO, W. S. Urbanization alters the composition, but not the diversity and structure, of Neotropical savanna woody plant communities. **Folia Geobotânica**. v. 55, p. 95–108, 2020.

HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban áreas. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 9, n 1, p. 15-24. 2010.

HARDOY, J. E.; PANDIELLA, G. Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America. In: BICKNELL, J.; DODMAN, D.; SATTERTHWAIT, D. (Eds). **Adapting**

cities to climate change: understanding and addressing the development challenges. London: Earthscan, 2009.

HATVANI-KOVACS, G.; BELUSKO, M.; SKINNER, N.; POCKETT, J.; BOLAND, J. Heat stress risk and resilience in the urban environment. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p.278-288, 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados - Montes Claros**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/montes-claros.html> >. 2020. Acesso em 23 Mar 2021.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: < <https://tempo.inmet.gov.br/> >. 2021. Acesso em 22 Fev 2021.

LEITE, M. E.; BRITO, J. L. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento do uso do solo urbano e de assentamentos ilegais em Montes Claros/MG. **Geosul**, v. 26, n. 52, p. 99-128, 2011.

LEITE, M. E.; PEREIRA, A. M.; NOBRE, B. A.; MARTIN, A. S. Monitoramento da dinâmica no uso do solo urbano de Montes Claros por imagens de alta resolução espacial. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51, p. 172-180, 2014.

LLANDERT, L. R. A.; **Zonas verdes y espacios libres en la ciudad**. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local, 1982. 538 p.

MARTINI, A.; BIONDI, D. Microclima e conforto térmico de um fragmento de floresta urbana em Curitiba, PR. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 182-193, 2015.

MARTINS, R. D.; FERREIRA, L. C. Oportunidades e barreiras para políticas locais e subnacionais de enfrentamento das mudanças climáticas em áreas urbanas: evidências de diferentes contextos. **Ambiente & Sociedade**, v. 13, n. 2, p. 223-242, 2010.

MIDDEL, A.; CHHETRI, N.; QUAY, R. Urban forestry and cool roofs: Assessment of heat mitigation strategies in Phoenix residential neighborhoods. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 1, p. 178-186, 2015.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, Série Teses e Monografias. n. 25, 1976.

MYINT, S. W.; WENTZ, E. A.; BRAZEL, A. J.; QUATTOCHI, D. A. The impact of distinct anthropogenic and vegetation features on urban warming. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 5, p. 959-978. 2013.

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. S. O microclima e o (des) conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 28, n. 1, p. 93-109. 2011.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de planejamento da paisagem do distrito de Santa Cecília (MSP)**. 1996, 229 p. Tese

(Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

OJIMA, R. Perspectivas para adaptação frente às mudanças ambientais globais no contexto da urbanização brasileira: cenários para os estudos de população. In: HOGAN, D. J.; MARANDOLA JR., E. (Orgs.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Campinas: Nepo, p. 11-24, 2009.

OLIVEIRA, D. A.; PIETRAFESA, J. P.; BARBALHO, M. G. S. Manutenção da biodiversidade e o *hotspots* cerrado. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, p. 101-114. 2008.

OLIVEIRA, L. M. F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, E.; CARVALHO, L.G.; SILVA, M.P. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 823-831, 2006.

OLIVEIRA, P. E. A. M. Fenologia e biologia reprodutiva de espécies do Cerrado. In: Sano, S. M., *et al.* **Cerrado: Ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 273- 290, 2008.

OUYANG, W.; MORAKINYO, T. E.; REN, C.; NG, E. The cooling efficiency of variable greenery coverage ratios in different urban densities: A study in a subtropical climate. **Building and Environment**, v. 174, p. 106772, 2020.

QUEIROGA, D. Q. **Índice de calor e desconforto térmico humano nas condições de ambiente natural em Patos, PB, Brasil**. 2019. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN JUNIO, M. O.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.; DE MUSIS, C. R. Analysis of internal and surface temperatures in different wooded shades. **RevSbau. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v.10, n.2, p. 40-60, 2015.

SABRIN, S.; KARIMI, M.; NAZARIA, R.; PRATT, J.; BRYK, J. Effects of different urban-vegetation morphology on the canopy-level thermal comfort and the cooling benefits of shade trees: case-study in Philadelphia. **Sustainable Cities and Society**. v. 66, e102684, 2021.

SHASHUA-BAR, L.; POTCHTER, O.; BITAN A.; BOLTANSKY, D, YAAKOV, Y. Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean City of Tel Aviv, Israel. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 41, p. 44-57, 2010.

SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - a review of the actual developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 224-240, 2013.

SANTOS, R. M.; VIEIRA, F. A.; GUSMÃO, E.; NUNES, Y. R. F. Florística e estrutura de uma floresta estacional decidual, no parque municipal da sapucaia, Montes Claros (MG). **Cerne**. v. 13, n. 3, p. 248-256, 2007.

SATTERTHWAITE, D. The implications of population growth and urbanization for climate change. In: GUZMAN, J. M.; MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G.; SCHENSUL, D.; TACOLI, C. (Ed.). **Population dynamics and climate change**. New York/London: UNFPA/IIED, 2009, p. 45-63.

SILVA, S. D.; STRECK, N. A. Tendências das séries históricas do índice de calor no município de Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1360-1366, 2014.

SILVEIRA, J. E.; PASTORELLO, C. E. S. P.; FONSECA, R. S. Aspectos florísticos e ecológicos do campus regional da Universidade Federal de Minas Gerais em Montes Claros - MG. **RevSbau. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v. 15, n. 3, p. 28-41, 2020.

STEADMAN, R. G. The Assessment of sultriness: part i: a temperature humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, p. 861-884, 1979.

STONE, B.; HESS, J. J.; FRUMKIN, H. Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities. **Environmental Health Perspectives**. v.118, n. 10, p. 1425 – 1428, 2010.

THOM, E. C. Cooling degree-day air conditioning, heating and ventilating. **Transactions of the ASAE**, v. 55, n. 7, p. 65-72, 1959.

UGEDA JUNIOR, J. C. Planejamento da paisagem e planejamento urbano: reflexões sobre a urbanização brasileira. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, v. 17, n. 1, p. 101-116, 2014.

USDA FOREST SERVICE - Davey Institute. **The Sustainable Urban Forest: A Step-by-Step Approach**. Philadelphia: USDA Forest Service USFS - Philadelphia Field Station. 2016.

WEST, P. C.; NARISMA, T. G.; BARFORD, C. C.; KUCHARIK, C.J.; FOLEY, J. A. An alternative approach for quantifying climate regulation by ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 2, p. 126-133, 2011.

YAN, H.; WU, F.; DONG, L. Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. **Science of The Total Environment**, v. 622-623, n. 1, p. 882-891. 2018.

YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 105-120, 2006.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**. v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZHANGA, X; ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y. An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables. **Sustainable Cities and Society**. v.32, p. 557–568, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em uma região onde o processo desordenado de urbanização e o clima não favorecem o conforto térmico urbano, a presença de espaços com cobertura vegetal arbórea pode se apresentar como um fator de atenuação dos efeitos indesejáveis de tal combinação sobre a saúde e o bem estar da população dessa região.

A contribuição da cobertura vegetal nos espaços urbanos a região do semiárido norte mineiro é significativa no sentido de reduzir os efeitos das elevadas temperaturas e baixos valores de umidade relativa do ar, contribuindo para a melhoria do conforto térmico urbano, quando comparado a espaços urbanos sem presença de cobertura vegetal.

Ainda, que tal contribuição é significativa ao longo de todo o ano, mesmo em condições onde, por características fenológicas intrínsecas das espécies florestais existentes no bioma regional, grande parte das árvores perde suas folhas (caducifolismo) nos meses de outono, quando são observadas as maiores temperaturas médias anuais e os menores valores de umidade relativa do ar.