



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MODELAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM UBÁ - MG

YAN CARLOS GOMES VIANNA

JUIZ DE FORA - MG
2018

YAN CARLOS GOMES VIANNA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MODELAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM UBÁ - MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, linha de pesquisa: Dinâmicas Socioambientais da Universidade Federal de Juiz de Fora para a obtenção do grau de mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira

JUIZ DE FORA - MG
2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vianna, Yan Carlos Gomes.

Modelagem e identificação de ilhas de calor em Ubá - MG / Yan Carlos Gomes Vianna. -- 2018.

189 f. : il.

Orientadora: Cássia de Castro Martins Ferreira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós Graduação em Geografia, 2018.

1. Clima urbano. 2. Ilhas de calor. 3. Modelagem espacial. I. Ferreira, Cássia de Castro Martins, orient. II. Título.

YAN CARLOS GOMES VIANNA

MODELAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM UBÁ - MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Dissertação defendida e aprovada em 31 de agosto de dois mil e dezoito, pela banca constituída por:



Profª. Dra. Cássia de Castro Martins Ferreira
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Fábio de Oliveira Sanches
Universidade Federal de Juiz de Fora



Profª. Dra. Erika Collischonn
Universidade Federal de Pelotas

DEDICATÓRIA

*Dedico a minha vó, Shirley Mathias
Gomes, sem você nada disso seria
possível.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a minha vó. Eu gostaria que você pudesse ter visto esse trabalho finalizado, mas infelizmente você se foi repentinamente. Apesar da convivência por vezes conflituosa pelo choque de gerações e pelo choque de personalidades sempre admirei sua história como mulher. Quando você não pode continuar a estudar porque meu bisavô achava que mulher deveria saber fazer serviço doméstico, você quebrou barreiras e em uma cidade pequena como Santos Dumont foi trabalhar fora, quando isso era visto como um tabu. Criou dois filhos sozinha e adoeceu de tanto trabalhar. Nunca faltou força de vontade a você. Quando minha mãe se foi, você fez tudo com grandes dificuldades para que eu pudesse ser o primeiro da nossa família a fazer um curso superior, por isso esse trabalho é seu vó, uma homenagem a sua história.

Em segundo lugar devo agradecer a minha orientadora e chefe Cássia de Castro Martins Ferreira pelas conversas, orientações, pelos conselhos, pelas correções no domingo, por tudo. Mas principalmente pelo exemplo de mulher, de mãe e de profissional, você é uma grande inspiração. Em muitos momentos quis desistir desse trabalho por achar que era uma tarefa que estava acima das minhas capacidades, mas minha maior motivação em terminar esse trabalho foi não te decepcionar.

Agradeço ao meu pai que me apoiou na execução desse trabalho. Ao meu tio Márcio que foi muito importante na minha infância, um exemplo de pessoa e infelizmente também se foi antes de ver esse trabalho completo. A minha irmã Nucha a qual os trabalhos de faculdade e as inúmeras maquetes que sempre acabavam comigo e que serviram de inspiração. E minha irmã Cinara pelos pequenos gestos de carinho em forma de paçocas e doces.

Agradeço enormemente a família que pude escolher, aos meus amigos que sempre me apoiaram, incentivaram e acreditaram no meu potencial: Passos, Henrique, Michel, Abramov e Bernardo. A Aline que não deixou eu me acomodar, me fez acreditar que eu merecia mais e me fez um homem melhor. A Camila pelos inúmeros cafés pagos nos intervalos. Essa vitória é de vocês também.

Agradeço a geógrafa Jéssica Lana e ao professor de Geografia Guilherme Lopes sem o auxílio de vocês nos trabalhos de campo esse trabalho não seria possível.

Agradeço as estrelas ascendentes da climatologia: a Débora, a Daiana e principalmente a Fran que estiveram juntas comigo no dia a dia, pelas conversas, pelos conhecimentos divididos, pelos campos, pelos trabalhos escritos a várias mãos e também pela inspiração, vocês são mulheres sensacionais.

Agradeço a Andrea Martha minha companheira de trabalho na estação meteorológica pelo companheirismo, pelo exemplo de comprometimento no trabalho e pela eterna boa vontade em trocar inúmeras vezes de turno para que eu pudesse assistir aulas e fazer trabalhos de campo.

Ao professor Fábio Sanches pelas conversas, pelas ideias, pelas técnicas apresentadas, pelos cafés juntos, esse trabalho tem a sua marca, obrigado pela coorientação extraoficial.

Agradeço aos professores do Departamento de Geografia da UFJF pelos ensinamentos e conselhos. Em específico agradeço pelo financiamento das idas aos congressos aprovados por vocês via departamento de Geociências e PPGeo.

Aos TAES do ICH e da UFJF como um todo pela dedicação no trabalho, muitas vezes sem receberem o devido reconhecimento, mas sem vocês não existe universidade. Gostaria de agradecer em especial ao Edilson que enquanto secretário nesse período sempre me ajudou com maior boa vontade a vencer as burocracias universitárias.

Agradeço a UFJF como um todo, pelos investimentos feitos em mim desde meus 15 anos quando ingressei nessa instituição pelo CTU, depois passei a graduação, ao quadro de funcionários e agora na pós-graduação. É um imenso orgulho carregar o seu nome. Por isso reitero o compromisso de sempre lutar pelo ensino público e de qualidade para todos.

Seja resoluto, não tenha medo de sacrifícios e derrube todas as dificuldades para a vitória.

Mao Tse-Tung

RESUMO

O clima urbano aparece como uma variável ambiental que ganha importância na medida que busca-se construir um ambiente mais agradável e saudável para os moradores citadinos. A cidade de Ubá, assim como a maior parte das cidades brasileiras passou por um crescimento urbano intenso o que trouxe consequências ambientais. O presente trabalho através da modelagem busca integrar diversas variáveis ambientais importantes para o aquecimento do ar urbano criando uma representação que contribui para o melhor entendimento da relação entre a dinâmica atmosférica, as formas naturais e o uso e ocupação no interior da cidade que conformam o seu clima urbano. Os procedimentos metodológicos nesse trabalho incluem mapeamento das características físicas e de urbanização necessária para a modelagem do potencial de campos térmicos urbanos. O sensoriamento remoto a fim de identificar áreas de maior aquecimento superficial. Modelagem de pontos representativos dos micros climas urbanos. Trabalho empírico com registro de temperaturas do ar. Identificação e mensuração de ilhas de calor atmosféricas através do comportamento térmico dos pontos analisados. Validação do modelo proposto por meio de correlação com os dados empíricos. O modelo de potencial de aquecimento se mostrou uma ferramenta poderosa em representar campos térmicos no interior da cidade. Os dados registrados verificaram que em Ubá, sob influência da Massa Tropical Atlântica, temos a formação de uma ilha de calor noturna de forte intensidade, de até 8,4°C. A modelagem desenvolvida tem o intuito subsidiar o planejamento e gestão urbana pelo poder público a fim de mitigar e minimizar os problemas ambientais decorrentes da urbanização na busca de uma maior qualidade de vida para população ubaense.

PALAVRAS-CHAVE: Clima urbano; Ilhas de calor; Modelagem espacial.

ABSTRACT

The urban climate appears as an environmental variable that gains importance as it seeks to build a more pleasant and healthy environment for city dwellers. The city of Ubá, like most Brazilian cities, experienced intense urban growth, which brought environmental consequences. The present work through the modeling seeks to integrate several important environmental variables for the urban air heating creating a representation that contributes to a better understanding of the relationship between the atmospheric dynamics, the natural forms and the use and occupation inside the city that conform its urban climate. The methodological procedures in this work include mapping the physical characteristics and urbanization required for modeling the potential of urban thermal fields. Remote sensing in order to identify areas of greater surface heating. Modeling of representative points of micro urban climates. Empirical work with record of air temperatures. Identification and measurement of atmospheric heat islands through the thermal behavior of the analyzed points. Validation of the proposed model through correlation with the empirical data. The heating potential model proved to be a powerful tool in representing thermal fields within the city. The recorded data verified that in Ubá, under the influence of the Atlantic Tropical Mass, we have the formation of an island of night heat of strong intensity, up to 8.4 ° C. The modeling developed has the purpose of subsidizing the urban planning and management by the public power in order to mitigate and minimize the environmental problems resulting from urbanization in the quest for a higher quality of life for the urban population.

KEY-WORDS: Urban climate; Heat Island; Spacial Modeling.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1.REFERENCIAL TEORICO	17
1.1 CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA	17
1.2 ANÁLISE RÍTMICA	20
1.3 O CLIMA URBANO	23
1.4 ILHAS DE CALOR	36
1.5 REVISÃO DOS ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR EM CIDADES MÉDIAS E PEQUENAS	53
2.METODOLOGIA.....	59
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO	61
2.2 ESTAÇÕES FIXAS	63
2.2.1 Equipamentos utilizados.....	65
2.2.2 Abrigos utilizados com os equipamentos	66
2.3 MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO	71
2.3.1 Levantamento das variáveis para aplicação do Modelo de Potencial Térmico (MPT)	71
2.3.2 Massa Construída	73
2.3.3 Albedo e emissividade.....	75
2.3.4 Áreas Verdes.....	78
2.3.5 Áreas Impermeáveis e permeáveis	79
2.3.6 Altitude e topografia	80
2.3.7 Fator de visão do céu.....	80
2.3.8 Integrando o modelo	81
2.4 ANÁLISE DE DADOS.....	83
3.ÁREA DE ESTUDO.....	88
3.1 UBÁ: UMA CIDADE MÉDIA	98
4.RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
4.1 TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE	100

4.2 MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO	127
4.3 SISTEMAS ATUANTES DURANTE O PERIODO DE LEVANTAMENTO DE CAMPO	135
4.4 DADOS DE TEMPERATURA DO AR	137
4.4.1 Dados Noturnos	140
4.4.2 Dados Diurnos.....	160
4.5 VALIDAÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO	162
4.6 PLANEJAMENTO URBANO	169
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
APÊNDICE I.....	184

INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016a) em 1950 apenas 36% da população brasileira vivia nas cidades, a partir de 1970, o Brasil atinge o patamar de país urbano com 55,92% da população brasileira vivendo nas cidades, hoje cerca de 84% da população vive em ambientes urbanos.

A evolução da urbanização despertou interesse crescente em pesquisadores no Brasil e no mundo sobre a vida citadina em seus mais diversos aspectos. O clima urbano aparece como uma variável ambiental que ganha importância na medida que busca-se construir um ambiente mais agradável e saudável para os moradores urbanos, que constituem a maior parte da população nacional.

O processo de urbanização no século XX foi marcado principalmente pela concentração e origem de grandes cidades e suas redes metropolitanas tanto nos países centrais quanto nos países periféricos. Os estudos urbanos historicamente privilegiaram as grandes metrópoles, tanto estudos voltados aos aspectos sócio-econômico como também estudos ambientais. Corrêa (1999) apontou o fato das grandes cidades terem atingido tamanha complexidade funcional, de dinâmica espacial, de estrutura social e de organização interna que seus problemas se tornaram amplamente visíveis.

Entretanto como relata Matos (2017) o processo de concentração econômica e demográfica ainda na década de 1970 começa a desacelerar no Brasil e se inicia um processo de desconcentração relativa da metrópole nacional, São Paulo, em direção as cidades médias.

Santos (1993) já relatava o processo de desmetropolização que pode ser verificado pelo aumento da importância econômica das cidades médias e sua crescente participação na população urbana brasileira, com crescente fluxo da classe média em busca de melhor qualidade de vida.

Com relação aos estudos dos aspectos ambientais Mendonça (2003) vai dizer que o quadro é parecido, com privilégio das grandes cidades como áreas de estudo dado ser nelas que a qualidade de vida apresenta os mais acentuados níveis de degradação. Na climatologia somente na década de 1970 surgem os primeiros trabalhos de clima urbano em latitudes tropicais como levanta Fialho (2009) em sua tese. No Brasil, a maioria dos trabalhos em clima urbano se concentra nas regiões sul e sudeste e privilegiam cidades de grande porte. Desses trabalhos os sobre cidades

médias e pequenas, segundo Mendonça (2003) só muito recentemente despertaram interesse de pesquisadores e ainda são escassos frente ao número de municípios brasileiros.

A cidade de Ubá assim como a maior parte das cidades brasileiras passou por um crescimento urbano intenso nos últimos anos. Em 1970 a população era, segundo o censo do IBGE (2016a) de 44.503 habitantes e quarenta anos depois em 2010 atingiu a marca de 101.519 habitantes, ou seja, um crescimento de 128% em quarenta anos que a transformou em uma cidade de porte médio.

Esse acelerado crescimento urbano gerou uma degradação ambiental que trouxe diversos problemas ambientais tipicamente urbanos: como enchentes, deslizamentos, poluição de corpos hídricos, do ar e do solo, desenvolvimento de um clima urbano, dentre outros que merecem atenção, pois causam uma piora na qualidade de vida dos habitantes citadinos.

O clima urbano é um dos componentes dessa qualidade ambiental urbana. Caseti (1991, p.20) salientou que “a forma de apropriação e transformação da natureza responde pela existência dos problemas ambientais”.

As mudanças na paisagem provocadas pelo processo de urbanização criam modificações não intencionais que, em geral, pioram a qualidade do ambiente urbano. O resultado das atividades humanas criam alterações no balanço de energia, na temperatura do ar, na umidade relativa, no balanço hídrico e na circulação dos ventos. Essas mudanças no clima urbano são percebidas pela população pelos problemas decorrente delas, seja na concentração de poluentes e particulados no ar urbano, seja na maior frequência de deslizamentos e enchentes decorrente da pluviosidade ou no aumento da sensação de desconforto térmico nos dias mais quentes.

Esse trabalho se foca nesse último aspecto do clima urbano, de como as alterações decorrentes da criação da cidade que se dão pela retirada da vegetação local, aumento da impermeabilização do solo, pela concentração de edifícios e vias, pelo aumento da circulação de veículos e pessoas vão alterar o balanço de energia, que poderá resultar em um clima no interior da cidade mais quente que o do seu entorno rural.

Este trabalho busca analisar a existência de um clima urbano na cidade de Ubá. Utiliza-se de um modelo geoespacial de potencial de campos térmicos urbanos para facilitar o entendimento de como as variáveis de uso da terra, tipo de pavimento, áreas livres, verticalização, massa construída, fator de visão do céu, incidência solar,

orientação das vertentes contribuem para a formação de diferentes campos térmicos no interior da cidade.

Partiu-se da hipótese que dada a dimensão de sua população e características da urbanização existem elementos suficientes para a formação de um gradiente térmico positivo do ar entre a cidade e a sua zona rural, ou seja, a existência de ilhas de calor atmosféricas. Além disso teríamos diferenças intra-urbanas de temperaturas do ar significativas que resultam, como Mendonça (2003) identifica da heterogeneidade da urbanização e morfologia do sítio urbano, gerando microclimas urbanos confortáveis e desconfortáveis às atividades humanas. Pois, segundo Santos (1981), em razão da divisão territorial do trabalho dentro da cidade temos duas ou diversas cidades que geram paisagens funcionalmente e estruturalmente distintas.

A intensa expansão urbana sem um ordenamento da mesma resulta, em geral, em degradação ambiental. A forma de apropriação da natureza pela sociedade deve considerar as potencialidades da paisagem e a capacidade natural de suporte. Somente um planejamento adequado pode minimizar os efeitos negativos que em geral decorrem da transformação do ambiente rural em meio urbano. Acredita-se que um estudo de tal ordem possa no futuro auxiliar o planejamento e intervenção urbana por parte do Estado de modo que esse através do ordenamento territorial possa evitar e corrigir problemas ambientais no interior da cidade

O primeiro capítulo dessa dissertação apresenta o referencial teórico que guia essa investigação sobre o clima urbano de Ubá aqui relatada. Os principais autores são o brasileiro Carlos Augusto Figueiredo Monteiro que funda a climatologia geográfica brasileira moderna e os trabalhos do britânico Timothy Richard Oke sobre o clima no interior das cidades.

O segundo capítulo vai fazer uma análise das metodologias utilizadas para os estudos urbanos e apresentar as metodologias utilizadas nesse trabalho com propósito de apreender o clima urbano de Ubá.

O terceiro capítulo apresenta uma caracterização geográfica da cidade de Ubá. Esse capítulo aparece como uma herança das clássicas monografias geográficas. A finalidade é oferecer um panorama geral sobre alguns aspectos físicos do sítio urbano, aspectos populacionais, históricos e econômicos da construção do espaço urbano da cidade, que deve ser entendido com uma paisagem que representa também uma sobreposição de tempos históricos.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões. São expostos resultados do sensoriamento remoto, do modelo de potencial de campos térmicos urbanos e dos dados de temperatura do ar na cidade e no entorno rural. Além disso indica algumas medidas que o Estado enquanto gestor do território pode efetivar para mitigar e evitar os problemas decorrentes da urbanização e sua consequente alteração do clima urbano.

O capítulo final apresenta as considerações finais do trabalho.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA

A Geografia positivista do século XIX e XX, como nos lembra Moreira (2014) fragmentou a realidade e, com ela a Geografia, em diversas geografias sistemáticas. Cada porção do espaço geográfico foi declarada como objeto de estudo de uma geografia, sobre o qual ela desenvolveu sua teoria, seu método e se autonomizou sobre um nome específico.

Internamente repetiu-se na Geografia o movimento geral de divisão das ciências, criado pelo paradigma positivista. Desse processo de especialização que se inicia pela Geografia Física, surge a climatologia na fronteira com a Física, especificamente com um ramo seu, a Meteorologia.

A Climatologia tem então suas bases na Meteorologia que por definição é "ciência que estuda a atmosfera e os fenômenos atmosféricos" (INMET, 2016, online). A aproximação entre os dois campos é tão grande que é uma tarefa difícil precisar os limites que separam e diferenciam os estudos de Climatologia e Meteorologia.

O professor Zavattini (2000) tenta esclarecer essa questão no qual destaca que a Meteorologia estuda os fenômenos atmosféricos com ênfase na medição e registro dos mesmos, visando determinar quais condições físicas os geraram. Tendo assim como um dos seus principais objetivos prever a repetição dos mesmos. A climatologia busca compreender a relação entre a atmosfera e o meio geográfico (relevo, solo, hidrografia, vegetação e as formas produzidas pelo homem) em uma determinada área. Buscando assim relacionar, por exemplo, a distribuição das chuvas e sua relação com a vegetação nativa ou com deslizamentos urbanos.

Outro ponto de discussão entre essas ciências, elucidado por Barros e Zavattini (2009), se dá entre os conceitos de clima e tempo. A Meteorologia teria como campo o tempo, enquanto a Geografia teceria seus estudos sobre o clima.

O tempo, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007) é "o estado momentâneo da atmosfera em um dado instante e lugar". Essa definição não é muito diferente da apresentada por Hann (1883, p.1) no final do século XIX "o que chamamos de tempo é apenas uma fase, um único ato da sucessão de fenômenos da qual em completo, ano após ano, a sequência mais ou menos semelhante forma o

clima de um lugar"¹. O tempo é então algo momentâneo, fugaz, uma combinação dos elementos atmosféricos em um instante do tempo em um determinado lugar. A definição de tempo se manteve ao longo desses dois séculos, diferentemente da concepção de clima que vai passar por uma mudança paradigmática nos estudos geográficos.

Em Geografia a definição clássica de clima é a definição de Hann (1883, p.1-2, tradução nossa)

Sob clima entendemos o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em qualquer ponto da superfície da Terra. [...] O clima é o conjunto de "condições meteorológicas" de um período mais longo ou mais curto de tempo [...] Mas, a fim de dar uma imagem verdadeira e satisfazer as necessidades de uso prático, é, portanto, também necessário ter uma ideia de quanto longe eles podem ir, os desvios destas condições médias em casos individuais.²

Essa definição de clima, como o estado médio da atmosfera, está intimamente ligada a Meteorologia Tradicional. Essa teria como procedimento analítico o estudo dos elementos atmosféricos (temperatura, umidade, precipitações, vento, insolação, nebulosidade, dentre outros) de forma separada. A Meteorologia Tradicional decompõe realidade atmosférica buscando compreender o funcionamento de cada elemento, à parte, com o objetivo de chegar ao entendimento do todo, a atmosfera, pela reconstituição dessas partes.

Esse, seria o funcionamento da ciência "clássica" de base newtoniana, dependeria, segundo Bertalanffy (2015), de duas condições: a primeira que as partes, ou no caso elementos, não tenham interações entre elas ou que as interações possam ser desprezadas. A segunda é que as relações descritivas do comportamento das partes sejam lineares, pois só então o todo seria soma das partes.

As duas condições não são satisfeitas ao se estudar a atmosfera, pois seus elementos têm grande interação entre si e são descritos por relações não-lineares, complexas. Para Zavattini e Boin (2013, p. 14) "esse é o principal defeito das técnicas descritivas tradicionais que, com arremedo de ciência, pretendem recuperar

¹ Was wir Witterung nennen, ist nur eine Phase, ein einzelner Akt aus der Aufeinanderfolge der Erscheinungen, deren voller, Jahr für Jahr mehr oder minder gleichartiger Ablauf das Klima eines Ortes bildet

² Unter Klimaverstehen wir die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, welche den mittleren Zustand der Atmosphäre an irgend einer Stelle der Erdoberfläche charakterisieren. [...] Das Klima ist die Gesamtheit der "Witterungen" eines längeren oder kürzeren Zeitabschnittes [...] Um aber ein richtiges Bild zu geben und den Bedürfnissen einer praktischen Verwendbarkeit entgegenzukommen, wird es darum auch nötig, eine Vorstellung davon zu geben, wie weit die Abweichungen von diesen durchschnittlichen Verhältnissen in einzelnen Fällen gehen können.

o que, no início de suas análises, destruíram”. Pois como forma de se retornar ao todo, após o estudo das partes, a Meteorologia Separatista combina uma ou mais médias dos elementos (em geral temperatura e pluviosidade) cria um índice e classificam todas as áreas de acordo com esse índice. A classificação de Köppen é uma das representantes dessa climatologia tradicional, que tem o clima como estado médio.

Como comenta Ayoade (1998) é a classificação mais popular e presente na maioria dos livros didáticos que abordam climatologia. Nessas classificações o clima aparece como uma grande abstração incapaz de nos revelar a complexa realidade climática de um local, não permite se chegar a explicações causais dos fenômenos climáticos, pois destrói a conexão entre eles seus elementos e entre a atmosfera e os elementos da superfície terrestre.

Na Meteorologia vai surgir uma nova abordagem, a Dinâmica. A característica da abordagem dinâmica, segundo Zavattini (2000), é que ela é sintética, isto é, busca de forma integrada, apreender todos os estados atmosféricos, o tempo e as massas de ar. Como diz Pédelaborde (1983, p.4, tradução nossa) “A meteorologia dinâmica fornece uma vívida descrição da atmosfera, porque considera que o tempo é uma realidade”³. Como relata Sant’ Anna Neto (2015) esse grande desenvolvimento da Meteorologia ocorre com a Escola de Bergen, fundada em 1917, quando o norueguês Vilhelm Bjerknes aplica os conceitos termo-hidrodinâmicos na construção de cartas sinóticas. Isso abriu possibilidade de melhor compreensão dos fenômenos atmosféricos baseados na origem, frequência e trajetória das massas de ar.

Como destacam Mendonça e Danni-Oliveira (2007) e Sant’ Anna Neto (2015) no Brasil temos o importante trabalho dos meteorologistas Adalberto Serra e Leandro Ratisbona que publicam em 1942, *Massas de ar na América do sul*, obra que se destaca pela inovação da abordagem segundo a dinâmica das massas de ar e pela grande importância para compreensão da circulação atmosférica sul-americana. Essa mudança paradigmática na Meteorologia vai repercutir fortemente na Geografia, com o surgimento de uma nova forma de estudo do clima, a Análise Rítmica.

³ La météorologie dynamique fournit une description vivante du milieu atmosphérique, car elle considère le temps qui est une réalité

1.2 ANÁLISE RÍTMICA

Sorre (1955) mostra grande insatisfação com a definição clássica de clima de clima proposta por Hann por seu caráter abstrato e não conveniente à sua proposta de uma ecologia, que tem como preocupação a distribuição das formas vivas pelo globo. Para ele a noção de clima se afastou de seu caráter original, que está erguido sobre bases biológicas. Essa ideia está no *Cosmos* de Humboldt, que entendia a noção de clima como conjunto de mudanças atmosféricas que afetam sensivelmente a nossos órgãos. Reafirmando essa visão Sorre (1955, p.14, tradução nossa) define clima como “o ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera sobre um lugar em sua sucessão habitual”⁴.

Na França, na década de 1950, Pierre Pédelaborde (1983) baseado em Sorre e se valendo da meteorologia dinâmica, cria o “método sintético das massas de ar e dos tipos de tempo” como uma nova abordagem do clima.

O tempo para Pédelaborde (1983) por ser fruto de uma combinação de elementos, e esses sendo tão variáveis, que uma combinação precisa é única e que no minuto seguinte pode se transmutar. Contudo analisando em um período maior de um dia ou alguns dias os elementos constituintes aparecem substancialmente semelhantes. Ao geógrafo interessa então o conceito menos restrito de tipos de tempos. “Quando uma combinação aparece frequentemente (não exatamente, é claro, mas com os constituintes muito próximos e produzindo efeitos praticamente iguais), ela constitui um tipo de tempo”⁵ (PÉDELABORDE, 1983, p.8, tradução nossa).

O novo método permitiria o estudo da totalidade dos tipos de tempo que mantem fiel a realidade complexa e concreta. Não exclui as combinações excepcionais dos elementos geradores de tipos de tempos não habituais. Leva em conta a sucessão, ou seja, o ritmo e duração dos tipos de tempo.

O uso do método sinótico das massas de ar, permite, ao estudar a trajetória, origem e propriedades das massas de ar, dar a climatologia uma concepção genética, isto é, explicativa da origem dos tipos de tempo atuantes sobre a superfície. Nas palavras de Pédelaborde (1983, p.18, tradução nossa) “O clima, como o tempo, é uma

⁴ “el ambiente atmosférico constituído por la serie de los estados de la atmosfera que cubre um lugar en su sucesión habitual”

⁵ Une notion encore plus large est celle de type de temps. Lorsqu'une combinaison réapparaît fréquemment (pas exactement, bien sûr, mais avec des constituants très voisins et en produisant des effets pratiquement semblables), elle constitue un type de temps.

combinação de elementos. Mas este é a combinação de tendências *dominantes* e *permanentes* (isto é, dos elementos mais gerais) da atmosfera sobre um local”⁶, definição muito próxima da proposta por Sorre (1955).

Em vez de separar os elementos do tempo como na climatologia clássica, o método sintético se foca nos tipos de tempo. Cada elemento constituinte do tipo de tempo é estudado individualmente, contudo sem ser isolado do conjunto. “O que importa é a forma como o complexo se manifesta, a imagem que ele apresenta e a ação fisiológica que ele executa”⁷ (PÉDELABORDE, 1983, p.22, tradução nossa). Além disso para o autor importam as condições que determinam o complexo: a origem das massas de ar, o tempo que elas ficam estacionadas, seja sobre parte do continente, oceano ou sobre o polo, qual a trajetória ela segue, quais mecanismos físicos atuam em sua origem e que alterações ela sofreu durante trajetória até o ponto de observação.

Através do método sintético das massas de ar e dos tipos de tempo, Pédelaborde (1983) acredita que ao abranger todos os tipos de tempo, a frequência que ocorrem e como se sucedem ao longo de um grande período, se esta forma de estudo do clima não restituir a verdadeira atmosfera se aproximaria bastante dela.

Relatando o desenvolvimento da Climatologia no Brasil Zavattini (2000; 2015) relembra que o Professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro aceita o conceito sorreano de clima e a partir das leituras de Pédelaborde inicia a busca por um novo paradigma dos estudos climáticos no Brasil.

Monteiro (1999) iniciou uma revisão conceitual, em busca de um conceito realmente geográfico do clima. Ele procura solucionar os defeitos das “classificações” investigando os princípios genéticos da causalidade dos fenômenos e não simplesmente caracterizando os padrões espaciais do clima em âmbito regional.

O professor Monteiro enxerga o clima como a sucessão habitual dos estados atmosféricos sobre um dado lugar da superfície terrestre. A análise rítmica desenvolvida por Monteiro (1999, p.9) “malgrado as limitações de abordagem estatístico generalizadoras, mas compensadas pela mostra dinâmica de 'padrões' extremos e habituais foi capaz de ensejar uma compreensão geograficamente mais

⁶ Le climat, comme le temps, résulte d'une combinaison d'éléments. Mais c'est ici la combinaison des tendances dominantes et permanentes (c'est-à-dire des éléments les plus généraux) de l'atmosphère au-dessus d'un lieu.

⁷ Ce qui importe, c'est *la façon dont le complexe se manifeste*, le tableau qu'il réalise et l'action physiologique qu'il exerce.

válida”. Assim o clima passa a ser visto na sua totalidade, entendendo o encadeamento dos tipos de tempo sobre um lugar, ou seja, seu *ritmo*, e contemplando também os tipos de tempo excepcionais, extremos, que são de especial interesse para Geografia, pois são eles em geral que produzem o maior impacto na vida do homem.

Apesar da proximidade dos dois métodos, Zavattini (2015) e Barros e Zavattini (2009) fazem uma ressalva com relação ao método de Pédelaborde (1983) ao comparar com o método proposto por Monteiro (1976). Eles discordam que a totalidade dos tipos de tempo leve a compreensão climática. O clima só pode ser entendido pela análise do seu ritmo, como propõe Monteiro, que tem seu enfoque na dinâmica das massas de ar e de como se dão as sequências dos tipos de tempo. Se valendo para isso do emprego de anos-padrão representativos: o habitual e os excepcionais, chuvoso e seco, além do emprego das análises episódicas. Nas palavras de Monteiro (1991, p.38) o que o diferencia de Pédelaborde é que

ele se preocupava antes com o levantamento da “totalidade dos tipos de tempo”, enquanto a mim interessava mais o mecanismo “sequencial” desses tipos, dando atenção as suas peculiares irregularidades, posto que estas se constituem (longe de ser “exceções”) em eventos de imensa importância aos processos de interação geográfica.

Barros e Zavattini (2009) comentam que enquanto para Pédelaborde (1983) o paradigma é “a totalidade dos tipos de tempo”, para Monteiro (1976), trata-se do “ritmo”, quer dizer, do “encadeamento, sucessivo e contínuo, dos estados atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno aos mesmos estados”, no que se conecta ao pensamento de Sorre (1951, p.33) “quanto ao ritmo ele exprime não mais a distância quantitativa dos valores sucessivos, mas o retorno mais ou menos regular dos mesmos estados”⁸.

A análise rítmica constrói uma noção de clima realmente geográfica, avança ao conseguir ir além da caracterização do clima, pois vai a gênese e ao ritmo do mesmo.

A Climatologia Dinâmica foi um grande avanço no real entendimento do clima. Contudo a Climatologia Separativa não pode ser descartada, ela complementa a Climatologia Dinâmica. Conforme Barros e Zavattini (2009) a abordagem tradicional

⁸ Quant au rythme, il exprime non plus l'écart quantitatif des valeurs successives, mais le retour plus ou moins régulier des mêmes états

quantitativa auxilia no conhecimento do clima de um lugar fornecendo históricos de amplitude dos elementos, frequências e pode apontar tendências de mudanças climáticas entre uma normal climatológica, de 30 anos, e outra. Porém é incompleta, sem a abordagem dinâmica qualitativa, que é imprescindível, pois ela busca entender o ritmo climático, o encadeamento dos estados habituais e excepcionais da atmosfera e as causas de tais estados, que tem sua explicação na ação das massas de ar e nos mecanismos frontais.

A partir do estudo do clima como ritmo Monteiro (1976) partirá para o estudo do entendimento do clima dentro das cidades.

1.3 O CLIMA URBANO

Com o processo de industrialização, que se inicia com o governo de Getúlio Vargas e se amplia com Juscelino Kubitschek na década de 1950, desencadeou-se uma forte urbanização do Brasil. O crescimento urbano intenso e desordenado das cidades brasileiras trouxe inúmeras consequências de ordem ambiental. Contudo Monteiro (2015) indaga ser surpreendente que mesmo com diversos problemas ambientais, os estudos urbanos nessa área sempre foram renegados, frente aos estudos econômicos e sociais. Muito se deve ao fato de que nossas cidades se desenvolveram subordinadas a uma visão desenvolvimentista, na qual a busca pelo progresso era vista como primordial, mesmo que se desse à custa do ambiente.

Apesar da tese de Monteiro sobre o clima urbano ser de 1976 o quadro ambiental das cidades brasileiras não mudou muito, o que ainda torna de grande relevância estudos sobre o ambiente urbano e dentro deles os estudos de clima urbano.

Monteiro (1976) cria uma nova proposta metodológica para enfrentamento do problema do clima urbano. Essa proposta une seus estudos anteriores sobre o ritmo climático apoiado na crítica de Sorre (1955) e na interlocução com Pédelaborde (1983) e acrescida da visão sistêmica desenvolvida por Bertalanffy (2015) e refinada com as ideias de Koestler (1970) sobre abordagem holística.

Nas palavras de Bertalanffy (2015, p.31), o surgimento da abordagem sistêmica “resultou do fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes terem se mostrado insuficientes para atender aos problemas

teóricos e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia". Esse descontentamento com a abordagem "normal"⁹ surge em diversos campos científicos.

Essa insatisfação vai levar a uma revolução científica e a um novo paradigma no qual os cientistas vão buscar novas formas de fazer ciência. Dessa busca, surgem de forma independente diversos modelos com estruturas semelhantes, mas com aplicações em campos diversos. Esse isomorfismo entre modelos, vai instigar em Bertalanffy (2015) a perspectiva da possibilidade de desenvolver uma teoria geral que unifica a ciência, isto é, aplicável a diversos campos nas ciências, o que ele vai chamar de Teoria Geral dos Sistemas (TGS).

A Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (2015) seria uma hipótese de trabalho um modelo teórico, uma forma de abordar determinado assunto. Essa abordagem seria recorrente em diversas ciências. A visão sistêmica é o entendimento de um todo como um sistema, ou seja, um complexo de elementos em interação. A TGS busca compreender o funcionamento dos sistemas, seu desempenho e organização dos fenômenos de forma organísmica, ou seja, renegando os mecanismos e determinismos. Além de oferecer respostas explicativas, busca desenvolver o poder de previsão e controle sobre os fenômenos.

A partir dessa abordagem Monteiro (2003) desenvolve o Sistema Clima Urbano (SCU), sistema que engloba um clima, fato natural, e a cidade, fato social. A produção do espaço urbano e as dinâmicas urbanas geraram em seu interior e sobre a cidade um clima que difere das áreas rurais circundantes. Como coloca Monteiro (2003, p. 19) "O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização".

As unidades espaciais climáticas estão intimamente ligadas à forma do relevo, por ser um fator de grande influência no clima, por isso Monteiro (2003) adapta as escalas climáticas à proposta taxonômica de Tricart (1972), que está resumida no Quadro 1. Contudo, ressalta que os limites propostos não são rígidos e sim uma referência.

⁹ Normal no sentido de ciência normal de Kuhn (2011), isto é, a ciência que é praticada e aceita pela comunidade científica que define um paradigma.

Quadro 1 – Categorias taxonômicas da organização geográfica do Clima e suas articulações com o Clima Urbano

Ordens de grandeza	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços Climáticos	Espaços Urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	(milhões de Km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	(milhões de Km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Sondagens aerológicas	Sistemas meteorológicos (Circulação secundária)	Redes transectos
IV	(centenas de Km)	1:1.000.000 1:500.000	Sub-Regional	Megalópole Grade área metropolitana	Rede meteorológica de superfície	Fatos geográficos	Mapeamento sistemático
V	(dezenas de Km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana Metrópole	Posto meteorológico Rede complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
VI	(centenas de m)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande bairro ou subúrbio de metrópole	Registro móveis (Episódios)	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade Subúrbio da cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação Habitação Setor de Habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro (2015, p. 130)

Existe uma articulação entre o clima urbano local e o clima em escala regional, o clima local se insere no clima sub-regional e o regional pode ser subdividido em mesoclimas e microclimas. A cidade também se fragmenta em bairros, ruas e casas e se integra com outras cidades formando as metrópoles. Assim, nas palavras de Monteiro (2003, p.20) “o espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere.”

Essa taxonomia proposta permite elucidar a hierarquia das unidades e também o escalonamento das unidades de urbanização e seu clima desde o microclima da habitação individual até o clima da cidade como um todo.

Contudo Monteiro (2003) não estabelece limites rígidos para a partir de qual grau de urbanização ou de população já poderíamos falar que há um clima urbano, a mesma dificuldade também é encontrada por Landsberg (1982).

Monteiro (2003) absorve a ideia de Koestler (1970) e entende a hierarquia das escalas climáticas como um todo multinivelado, estratificado e ramificado, a qual pode ser visualizado na ideia de uma árvore.

Uma das vantagens da ideia da árvore é que ela elucida o entendimento da hierarquia entre as partes, a partir da analogia como o tronco vai se ramificando em galhos e esses em ramos. O todo vai se diversificando a partir do momento que vai ascendendo na hierarquia.

Além disso ressalta o aspecto organizacional no qual as partes são vistas como subsistemas e não como simples agregados de partes. Amplia o entendimento de como ocorre a interligação entre os níveis, como por exemplo, como o *output* de energia de um nível maior é transmitido para um nível menor onde entra como seu *input*. A árvore favorece o conceito da TGS de que os sistemas não são estáticos, mas são um todo em crescimento, em um movimento de evolução.

Na representação da árvore de Koestler (1970), Figura 1, temos adaptado as escalas do clima de Monteiro (2003). Na Figura 1.a, temos, na direita o todo da superfície terrestre e da atmosfera. Ao subir na hierarquia, o clima vai devido aos fatores geográficos, se diversificando até o nível local (a.4). Em 1.b, temos um corte transversal no nível a.4, onde voltamos a representação mais tradicional, em que os elementos estão contidos um dentro dos outros, mostrando que o próprio clima local (b.1) é formado por vários microclimas (b.4) nele contidos. Mas, alternativamente, poderíamos, como representado na esquerda, partir do clima local, este sendo o tronco da árvore em (a.1), subdividi-lo até vários microclimas.

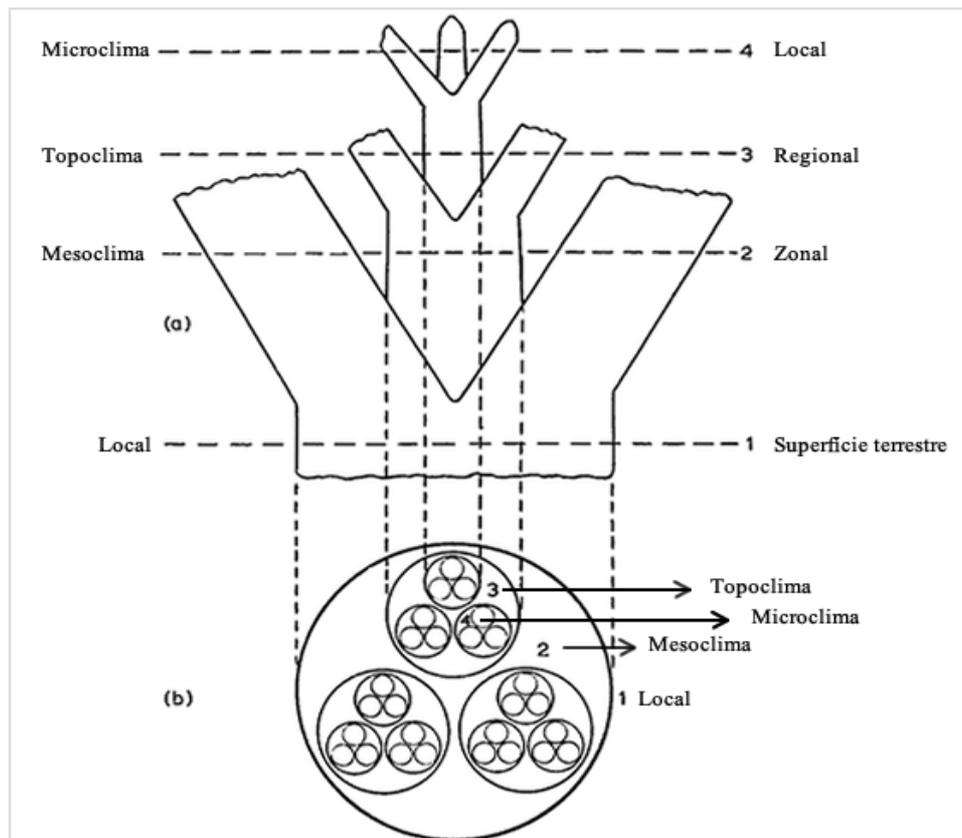
Como Koestler (1970, p.135, tradução nossa) coloca em relação ao todo e parte de um sistema

Cada um é um sub-conjunto que, em relação as suas partes subordinados, se comporta como um todo auto-suficiente, e em relação aos seus controles de qualidade superior, como parte dependente. Esta relatividade dos termos "parte" e "todo", quando aplicado a qualquer dos seus subconjuntos é mais uma característica geral das hierarquias.¹⁰

¹⁰ Each is a sub-whole which, towards its subordinated parts, behaves as a self-contained whole, and towards its superior controls as a dependent part. This relativity of the terms "part" and "whole" when applied to any of its sub-assemblies is a further general characteristic of hierarchies.

Ou seja, o autor reafirma a possibilidade de subdivisão quase infinita dos sistemas proposta por Monteiro (2003), visto que cada subsistema possui um elevado grau de autonomia e acrescenta a ideia de relativização entre o que é o todo e a parte dentro de um sistema hierárquico.

Figura 1 – Escalas climáticas dentro da visão de hierarquia de Koestler



Fonte: Adaptado de Koestler (1970, p. 133)

Koestler (1970) vai além, dizendo, que quando nos referimos a “parte” a ideia é de algo fragmentado e incompleto. Ao usarmos a palavra “todo”, pelo contrário, ela por si significa algo completo em si mesmo. Mas que essa dualidade é artificial, o que nós encontramos são estruturas intermediárias que tem uma dupla característica: em relação aos níveis mais baixos, ela é um todo autônomo e em relação a sistemas de níveis mais altos ela forma apenas um subconjunto dependente. O autor propõe então o uso do *hólón* para esse nível intermediário de organização dos sistemas, alterando nosso pensamento do dualismo todo-parte para um pensamento multi-nivelado.

O SCU então possui uma organização hierárquica, contudo não podemos esquecer que ele se associa, entrelaça, nos termos de Koestler (1970), com outros

sistemas formando redes horizontais em vários níveis, nos quais ocorrem integração de funções.

Assim o SCU segundo Monteiro (2003) pode ser resolvido no nível intermediário, dos hólons, os nós da árvore diagrama, uma vez que o SCU não pode ser reduzido ao estudo de suas partes analisadas individualmente. Tão pouco o estudo do todo se torna exequível devido ao grande número de elementos, partes e interações entre eles. A análise dos hólons se torna conveniente, pois eles são pontos estratégicos por onde passam os fluxos de energia que percorrem o sistema.

Os hólons, segundo Koestler (1970), são regidos por conjuntos de regras fixas, os cânones, que são invariáveis, que representam a coerência, a estabilidade, um padrão de estrutura e funções dentro do SCU quando esse está em seu estado estacionário. O cânnon representa as restrições impostas, mas essas restrições deixam espaço para estratégias flexíveis, guiadas pelas contingências no ambiente. MONTEIRO (2003) acredita que o homem pode criar estratégias de ação, na esfera do planejamento urbano, para intervenção no funcionamento do SCU, buscando levar o sistema a um funcionamento mais harmonioso, a um melhor desempenho, corrigindo seus defeitos.

O SCU é classificado como um sistema não isolado aberto. Christofolletti (1999) classifica que um sistema é não isolado por manter relações com os demais sistemas do universo que funciona, ao contrário dos isolados nos quais, dada as condições iniciais, não têm acréscimos e nem perda de energia ou matéria do ambiente que os circundam. Aberto porque há trocas, negativas e positivas, de energia e matéria. Em um dos enunciados do SCU, Monteiro (2003, p.20) diz que:

O S.C.U. importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou é exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos.

O Sistema Clima Urbano visa entender o clima peculiar que se desenvolve na cidade, por isso o sistema está centrado nas características atmosféricas, que na linguagem sistêmica é chamada de *operador* do sistema. O espaço urbano, com todos seus elementos (homem, edificações, vias, vegetação etc.), forma um conjunto sobre o qual a atmosfera atua, o *operando* do sistema.

Mas o *operando* não é passivo, ele é reativo à atuação do operador. A modificação desses elementos repercute no núcleo do sistema. A entrada de energia

no SCU é de ordem térmica e vem diretamente do Sol, mas o maior número de edificações em locais antes vegetados contribui para alteração na forma como ela permeia no sistema, devido à alteração das características de reflexão, absorção e armazenamento térmico levando a uma modificação positiva do balanço térmico, produzindo fenômenos como as ilhas de calor.

Monteiro (2003, p.22) ressalta que “a avaliação dessa entrada de energia no S.C.U. deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão”. Isso se deve pela aceitação da noção de clima dinâmico, como encadeamento dos tipos tempos, o ritmo climático, sobre determinado espaço terrestre, que nos revela a dinâmica processual.

Conjuntamente a ideia de Pédelaborde (1983) do estudo da totalidade dos tipos de tempo, i.e., a totalidade de estados do sistema, é importante, pois ela revela os padrões estruturais do clima. Dessa forma se torna importante o estudo qualitativo, que busca a causalidade dos comportamentos atmosféricos, através da análise da entrada de energia, sua transmissão e fluxo de energia no sistema.

A análise qualitativa é a ênfase na sucessão rítmica, já a quantitativa se concentra nas mudanças e relações espaciais, buscando avaliar o grau de mudança no sistema.

Por estar em consonância com a visão sistêmica “a estrutura interna do S.C.U., não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes [...] mas somente por meio da íntima conexão entre elas” (MONTEIRO, 2003, p.23). É fundamental a visão sistêmica buscar identificar a inter-relação entre as partes e a organização funcional do todo, pois não se entende que com o estudo e somas das partes possa se chegar ao entendimento do todo, como na visão positivista.

A visão sistêmica busca de acordo com Bertalanfy (2015) estudar as partes e processos na organização e na ordem que os unifica, o que torna o comportamento dessas partes diferente quando analisado dentro do todo e quando isolado. Busca resolver problemas que a ciência clássica não é capaz de fazer, seu enfoque é entender a complexidade organizada, em que há interação de um grande número, embora limitado, de elemento e processos. O que levanta problemas em relação à organização, totalidade, direção, teleologia, diferenciação dentre outros os quais a teoria dos sistemas busca solucionar.

Na visão mecanicista o ambiente, através dos fluxos de energia, determina o comportamento do núcleo do sistema. O ambiente na visão organísmica segundo

Monteiro (2015) guia, corrige ou neutraliza os efeitos da entrada de energia, adaptando e gerando novos padrões de comportamento.

Monteiro (2003) ponderou que devido ao elevado número de elementos a serem analisados no SCU, tanto de ordem atmosférica como urbana, torna-se necessário agrupá-los para simplificar o processo de análise. O critério adotado deve ser através das percepções humanas dos fenômenos, já que a Geografia é uma ciência antropogênica. Esses canais que passam pelo estudo dos hólons seriam o: conforto térmico, qualidade do ar e do impacto meteórico. O presente trabalho se enquadraria no canal de conforto/desconforto térmico.

O S.C.U. pode ser regulado. Essa função Monteiro (2003) acredita ser possível de ser desenvolvida pelo homem. Os estudos climáticos subsidiariam a intervenção do homem no sistema, corrigindo-o de forma a minimizar as disfunções danosas a sua vida. A percepção e conscientização dos problemas ambientais urbanos poderia, através do planejamento urbano e da ação corretiva, levar o sistema a um estado de maior qualidade ambiental.

Pela possibilidade de interferência auto-reguladora, acrescentam-se ao S.C.U., como sistema aberto, aquelas propriedades de entropia negativa pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, como um sistema morfogenético (MONTEIRO, 2003, p.25)

Monteiro (2003) incorpora no SCU a ideia do SOHO, modelo de ordem hierárquica auto-regulado aberto¹¹. Esse modelo tem dois princípios fundamentais o da visão de organização hierárquica e dos modelos abertos e alguns pontos de cibernética.

O princípio da cibernética é de suma importância no SCU. Com base em Bertalanfy (2015) a cibernética tem como foco analisar os mecanismos de controle, fundada nos conceitos de informação e retroalimentação sendo de suma importância para entendimento de sistemas autorregulados como o SCU. Ela analisa as respostas do sistema a estímulos do meio e como os mecanismos *feedback* (de retroação) que atuam no sentido de regulação. A função de auto-regulação do sistema clima urbano, como pensada por Monteiro (2003), seria desempenhada pela ação planejada da sociedade. Apesar de atualmente o termo cibernético nos remeter diretamente a

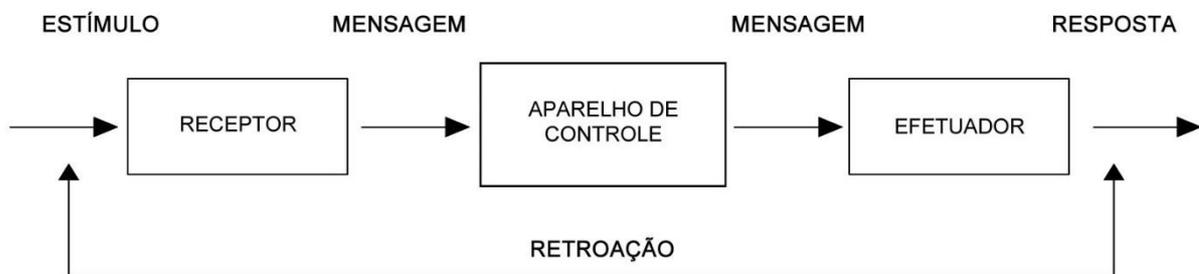
¹¹ Model of Self-Regulation Open Hierarchic Order

informática, robótica e automação industrial, ele é um conceito geral da teoria dos sistemas e como tal aplicável em qualquer sistema, inclusive os da natureza.

Monteiro (2003) também utiliza aspectos da teoria da informação, que segundo Bertalanfy (2015) passa a ser usada como medida de organização do sistema, à semelhança da ideia de entropia negativa da termodinâmica. A entropia mede o nível de organização no sistema, logo a entropia negativa mediria o nível de organização.

Outro importante conceito na teoria da informação é o de retroação, o que a liga com a cibernética. O esquema básico de retroalimentação está exemplificado na Figura 2. O receptor recebe um estímulo do ambiente, o estímulo é levado a um controle, este envia uma mensagem para o efetuator gerando uma resposta. Parte dessa resposta volta ao receptor que frente a esse novo estímulo gera uma nova mensagem. Esse processo ocorre até que determinado fim seja alcançado. O mecanismo de retroalimentação possibilita autorregulação dos sistemas cibernéticos, que no caso do SCU tem como finalidade a busca pelo equilíbrio, a homeostase.

Figura 2 – Esquema básico de retroação



Fonte: Bertalanfy (2015, p. 69)

O crescimento desordenado da urbanização afastaria o sistema de sua tendência natural de equilíbrio homeostático e o leva fatalmente à entropia negativa estado de desordem do sistema. Entretanto a sociedade através do poder público pode criar mecanismos auto-reguladores, legais ou por meio de novas tecnologias com a finalidade de funcionamento harmônico. Assim numa posição otimista, uma maior qualidade ambiental nos espaços urbanos pode ser alcançada pelo homem.

O funcionamento do SCU como um todo está resumido na figura 3. O clima urbano, como já mencionado, pode ser resolvido no nível dos hólons, subsistemas intermediários onde os elementos aparecem em conjuntos de maior afinidade e

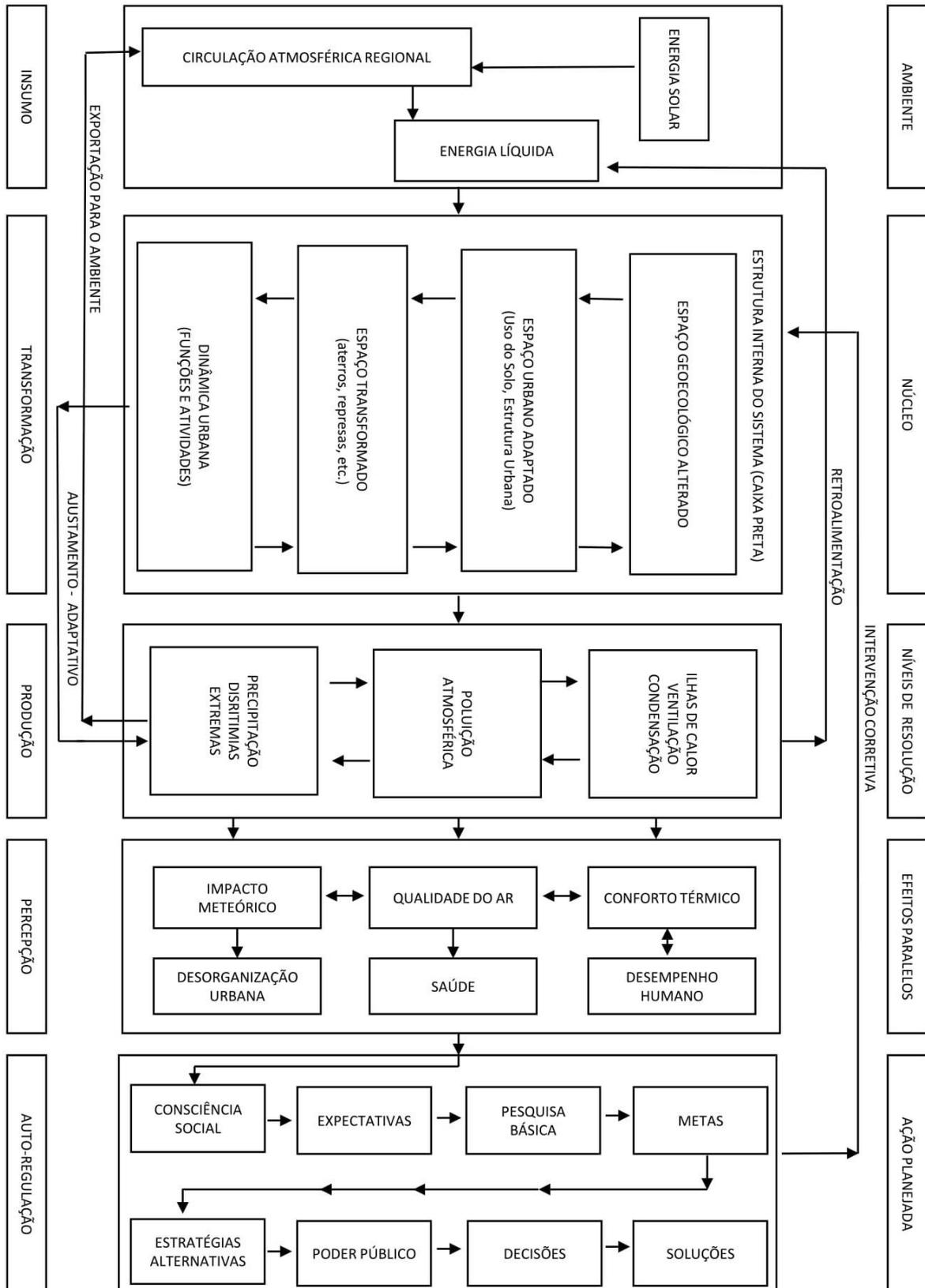
interação. Mas que também estão intimamente ligados aos canais da percepção humana. São três os subsistemas ou canais de percepção que formam o SCU: Canal I, Conforto térmico, subsistema termodinâmico; Canal II, a qualidade do ar, subsistema físico-químico; Canal III, impacto meteórico, subsistema hidrodinâmico.

Apesar de aparecerem separados os subsistemas, eles estão intimamente ligados, mas desvinculados para análise, que é incapaz de abarcar diretamente o todo. O que diferencia esse método de análise da climatologia separatista clássica é que os elementos não são reduzidos aos atributos mais elementares, mas sim vistos em conjuntos que tem a percepção do homem sobre esse fenômeno como lógica unificadora.

Nesse diagrama vemos as partes gerais dos sistemas citados ao longo do texto: o ambiente, de onde vem o input de energia do sistema e que gera os movimentos de circulação na escala regional; o núcleo do sistema, formado pelo espaço natural e o construído pelo homem; os níveis de resolução, os subsistemas e seus efeitos via canais de percepção humana; e o mecanismo de retroação pela ação planejada do homem.

O subsistema de interesse desse trabalho é o termodinâmico que está ligado ao canal do conforto térmico. Esse canal atravessa todo o sistema, pois seu insumo básico (input) é a radiação solar que é transformada na cidade e pelos mecanismos de retroalimentação produz alteração no balanço térmico da atmosfera e logo do sistema como um todo. Essa alteração do balanço térmico se relaciona diretamente com a ideia de conforto térmico e qualidade do ambiente percebidas pelo homem. O sistema admite a ação humana como forma de auto-regulação seja de forma coletiva atuando no planejamento urbano seja de forma individual na arquitetura das edificações. Seu esquema está representado na Figura 4.

Figura 3 – Diagrama do SCU



Fonte: MONTEIRO (2003, p. 45)

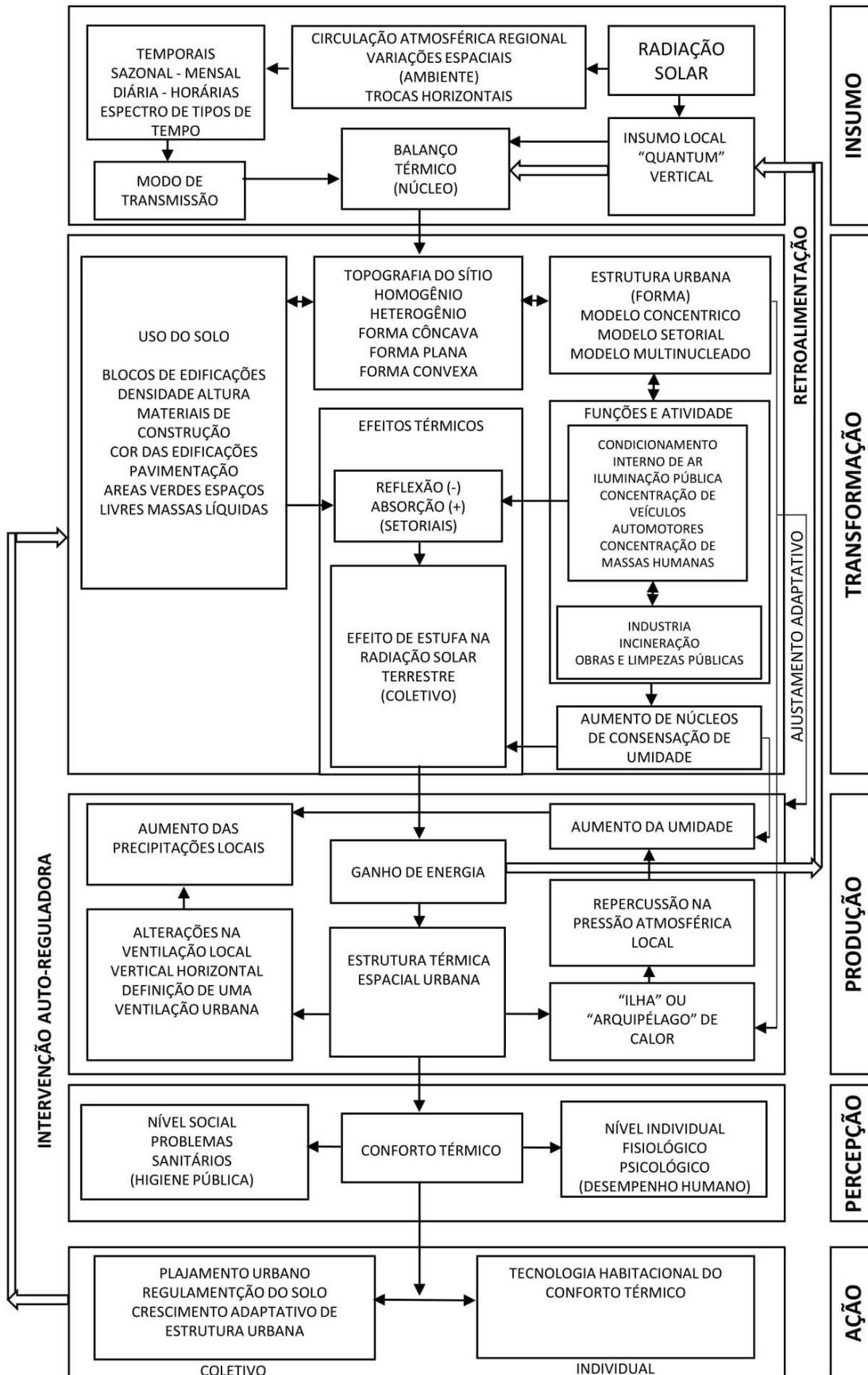
Apesar do foco ser os componentes térmicos, eles se associam diretamente com os componentes barométricos, ventilação, condensação e precipitações. O aumento de energia térmica em determinados pontos da cidade, criam uma diferença de pressão entre dois pontos, o que altera a circulação dos ventos. Esse é de suma importância a dispersão dos poluentes. A maior presença de poluentes, que funcionam como núcleos de condensação, que altera a forma de precipitação nas cidades. Esses mecanismos ilustram a íntima vinculação dos subsistemas, que aqui são analisados individualmente, mas que tem seu funcionamento de forma inter-relacionado. Como coloca Lombardo (1985) a percepção da população sobre o clima urbano é única:

Os fenômenos inter-relacionados, como ilha de calor, poluição do ar, chuvas intensas inundações, desabamentos passa, ao fazer parte do cotidiano urbano, sobrepondo mais um fenômeno aos demais, fazendo com que a população se defronte com essa natureza alterada e conviva diariamente com os problemas dela decorrentes. (LOMBARDO, 1985, p.18)

Ao analisar o clima urbano dentro do subsistema térmico o presente trabalho foca no aspecto da produção das ilhas de calor, cientes que o clima urbano não se reduz a esse fenômeno, mas que o mesmo é um aspecto relevante do clima urbano.

A próxima seção investiga os elementos contribuintes para a formação de características térmicas diferenciadas no interior da cidade.

Figura 4 – Subsistema termodinâmico (canal do conforto térmico)



Fonte: MONTEIRO (2003, p. 46)

1.4 ILHAS DE CALOR

As Ilhas de calor com base em Gartland (2010) são um “oásis inverso”, é um fenômeno tipicamente urbano onde as temperaturas do ar e de superfície são maiores que as registradas nas zonas rurais circundantes.

O termo faz alusão ao padrão espacial das isotermas ao se representar o fenômeno cartograficamente como que se assemelha as curvas de altimetria da representação de uma ilha. Na Figura 5 temos a representação de uma ilha de calor, sendo em 5a uma ilha de alta intensidade na região central de uma metrópole, em 5b uma ilha de calor de baixa intensidade e em 5c a região metropolitana e a formação da ilha de calor na sua região central.

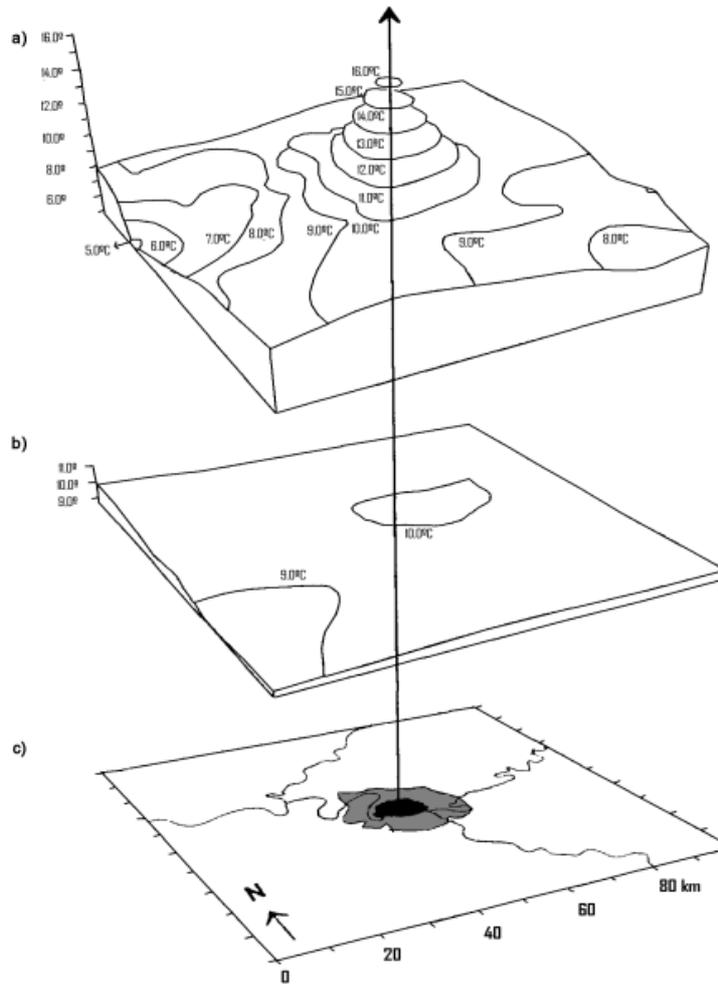
Essa anomalia termal deriva da transformação exercida pela sociedade no espaço ao criar a cidade. As alterações na paisagem natural pela urbanização criam condições climáticas diferenciadas nestas áreas entendida como um clima urbano. Os materiais de construção amplamente utilizados nas cidades possuem propriedades físicas que fazem com que esses materiais absorvam mais calor advindo da radiação solar e o conservem por mais tempo em comparação os espaços vegetados.

Na Figura 6 temos uma corte transversal de uma típica ilha de calor urbana¹². Esse fenômeno tende a ser mais intenso conforme ocorre a expansão da cidade, seja por um maior adensamento ou pelo aumento da sua mancha urbana. Inversamente como coloca Mendonça (2003) quanto menor a extensão espacial do fenômeno urbano menor será a expressividade ou singularidade climática urbana dentro das condições atmosféricas no âmbito regional.

No interior da cidade o fenômeno se manifesta com diferente intensidade, zonas densamente construídas e com pouca vegetação apresentam temperaturas maiores em comparação com zonas de construções mais baixas e com maior índice de áreas vegetadas.

¹² Essa representação esquemática de Oke (1987) é mais adequada para as cidades canadenses e estadunidenses. No Brasil nossas cidades são menos setorizadas, você tem maior diversidade de usos. Em uma mesma área você tem usos comerciais, residenciais e, as vezes, até industriais. Reflexo de uma urbanização pouco planejada. Além disso Mendonça (2013) coloca que essa caracterização é mais facilmente identificada em cidades grandes, porém podem não se manifestar da mesma maneira em cidades de menor porte.

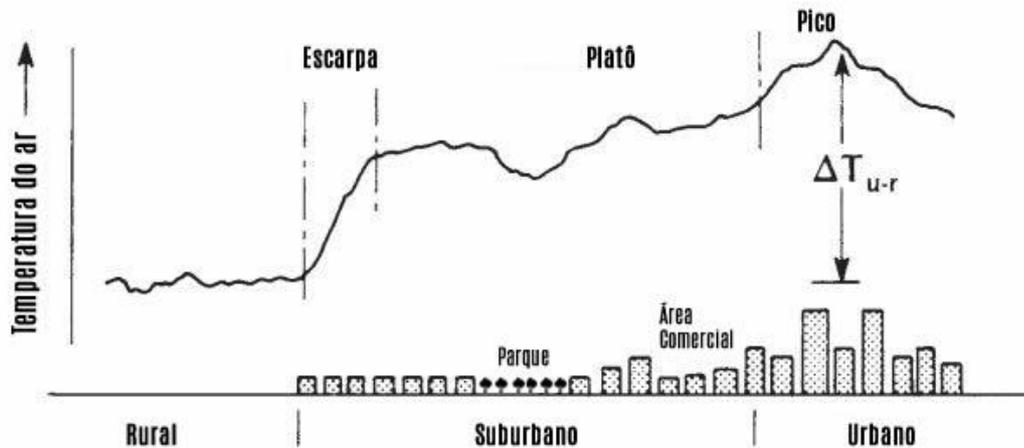
Figura 5 – Representação de uma ilha de calor



Fonte: Adaptado Cantat (2004)

Especialmente o pico ou máxima intensidade do fenômeno segundo (OKE, 1987) se dá em geral no centro das cidades pelo adensamento, alta verticalização e pouca vegetação ou em áreas industriais pelos materiais industriais utilizados e pelo calor gerado por máquinas e equipamentos. Temporalmente essa diferença entre o ar urbano e o rural é máximo quando temos dias com baixa nebulosidade e poucos ventos as chamadas condições ideais para a formação das ilhas de calor. Isso ocorre devido a nebulosidade ser uma barreira a radiação recebida pela superfície terrestre e aos ventos favorecerem o resfriamento das superfícies pelo processo de convecção. (DUBREUIL, 2016; TEIXEIRA, 2015; GARTLAND 2010)

Figura 6 – Corte transversal em uma típica ilha de calor



Fonte: Adaptado de Oke (1987)

Segundo Gartland (2010) os principais pontos que fazem com que as superfícies urbanas sejam mais quentes que as rurais são que a maioria das superfícies urbanas, como os pavimentos asfálticos e coberturas, possuem baixo albedo ou como também é chamado baixa refletância, ou seja, os materiais tem tonalidades escuras, que refletem pouca radiação e absorvem mais calor. Esses materiais também possuem propriedades físicas como alta condutividade térmica e alta capacidade calorífica que permitem que eles armazenem mais calor em seu interior. Outra característica dos materiais urbanos é sua impermeabilidade, o que reduz a umidade disponível, gerando elevada temperatura de superfície, pois minimiza a perda de calor por evaporação desses materiais.

Além disso o padrão de geometria urbana formam cânions que ampliam a absorção da radiação, pois refletem a radiação entre as superfícies o que faz ela ficar “aprisionada” dentro dos cânions. O calor gerado pelas atividades do homem para aquecimento/resfriamento de casas e locais de trabalho durante o inverno/verão, para o transporte e processos industriais também colaboram para aquecimento das cidades. A verticalização das edificações formam barreiras ao vento o que diminui a transferência de temperatura entre as superfícies e o ar, favorecendo o aquecimento urbano. A canalização total de cursos de água também favorece que você tenha menor capacidade de infiltração da água no solo, o que diminui os processos de evaporação e conseqüentemente maior temperatura e menor umidade do ar. A poluição do ar e particulados que além de prejudicial à saúde, podem contribuir para

o aquecimento do ar e superfícies ao absorverem, refletirem e emitirem radiação para as superfícies.

Sobre as mudanças das superfícies urbanas em relação as características naturais Oke (1987, p.272) explica que:

O processo de urbanização produz mudanças radicais na natureza da superfície e das propriedades atmosféricas da região. Isso envolve a transformação das características de radiação, temperatura, umidade e aerodinâmica e assim desorganiza os balanços naturais de energia solar e hidrológicos¹³

Todas essas alterações geram aquecimento no ar e superfícies urbanas, pois alteram os termos do balanço de energia. O balanço pode ser representado pela equação:

Saldo de radiação + Calor Antropogênico = Convecção + Evaporação + Armazenamento.

(Equação 1)

A Equação 1 está baseada na primeira lei da termodinâmica que segundo Sonntag, et al. (2002) é também conhecida como lei da conservação de energia. Lei definida como “a variação líquida de energia do sistema é sempre igual a transferência líquida de energia através da fronteira do sistema, na forma de calor e trabalho” (Sonntag et al.,2002, p.81).

Na Equação 1 do balanço de energia temos que todo saldo de radiação proveniente do sol que chega a superfície terrestre somado ao calor gerado pelo homem ou é perdido por convecção para a atmosfera ou evaporação ou é armazenado como calor.

Por convecção, como explica Gartland (2010), o calor é transferido de um sólido para um fluido, é dessa forma que o calor passa da superfície para a atmosfera. Sua taxa aumenta quando temos mais ventos ou maior turbulência do ar. Maiores índices de verticalização reduzem a convecção devido aos edifícios formarem barreiras a circulação dos ventos, canalizando eles em apenas alguns pontos e segundo Oke (1987) formando uma maior turbulência do ar próximo ao chão nas faces de barlavento dos mesmos.

¹³ The process of urbanization produces radical changes in the nature of the surface and atmospheric properties of a region. It involves the transformation of the radiative, thermal, moisture and aerodynamic characteristics and thereby dislocates the natural solar and hydrologic balances

A ilha de calor pode formar brisas próprias de áreas rurais ou do oceano devido a sua maior temperatura, contudo a disposição da geometria urbana pode atenuar ou localizar esses ventos em apenas algumas áreas urbanas.

A evaporação como explica Mendonça e Danni-Oliveira (2007) é o processo de passagem da água do estado líquido para o gasoso nessa passagem há um consumo de energia (calor) de 600 cal/g, calor que sensível que é transformado em calor latente que nesse processo resfria o ar e a superfície. Esse processo aumenta com a velocidade dos ventos, eleva-se exponencialmente com aumento temperatura do ar e decresce com aumento da umidade relativa.

Esse termo da equação como nos lembra Gartland (2010) também engloba a realização da evapotranspiração pelas plantas, na qual elas retiram água do solo durante seu processo metabólico e devolve ao ambiente como produto sob a forma de vapor pelas folhas.

Armazenamento depende de duas propriedades dos materiais, como coloca Gartland (2010), a primeira é *condutividade térmica* que é a facilidade que o material tem em se aquecer e *capacidade calorífica* é a quantidade de calor que o material consegue armazenar. Quanto maior a quantidade de calor armazenado maior a temperatura dos materiais. A difusividade térmica é um indicador que combina essas duas propriedades:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

(Equação 2)

onde:

α = difusividade

k = condutividade térmica (W/(m. K))

ρ = massa específica (kg/m³)

c_p = capacidade calorífica (J/(kg . K))

As construções citadinas usam materiais em geral com grande capacidade de condução e armazenamento, logo altos índices de difusividade. Além disso a maioria desses materiais são impermeáveis o que reduz a possibilidade de resfriamento por evaporação. Isso gera um armazenamento do calor nas cidades durante o dia e uma lenta liberação a noite. O que é o principal fator para a formação das ilhas de calor nos países tropicais.

No gráfico 1 vemos alguns valores de condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica para alguns materiais, destaque para o aço como material com imensa difusividade térmica, noventa e seis vezes maior que da água e o mesmo é amplamente utilizado como cobertura no Brasil, principalmente em unidades industriais.

As áreas de superfície vegetadas, sejam naturais ou rurais, tem na sua composição elementos que apresentam baixa difusividade. Além disso a fisiologia vegetal tem características que favorecem temperaturas do ar mais amenas.

Durante a fotossíntese e a respiração as plantas absorvem radiação, liberam vapor e resfriam o ar. Mendonça (2003, p.110) salienta que “A vegetação, enquanto fator climático, manifesta sua influência em todas as escalas de grandezas climáticas”, na escala microclimática exerce importantíssimo papel no balanço de energia no interior da cidade.

A permeabilidade da superfície das áreas vegetadas também favorece o armazenamento de água no solo. A água armazenada ao evaporar contribui para maior umidade do ar e temperaturas mais baixas do mesmo.

A presença de córregos, lagos, lagoas e qualquer lâmina d'água também favorecem os processos de evaporação e o resfriamento do ar durante o dia. A noite há uma lenta liberação do calor armazenado dado a característica da água de ter elevada capacidade calorífica. Por isso locais próximos a massas de água tem menores amplitudes termo-higrométricas conforme descreve OKE (1987), pois favorecem durante o dia menores temperaturas do ar, porém a noite tem resfriamento mais lento.

A ausência de vegetação e a canalização de córregos durante o processo de urbanização brasileira é um dos processos que causam o aparecimento das altas temperaturas urbanas. Além das altas temperaturas do ar a perda de vegetação, impermeabilização e canalização favorecem a formação de ilhas secas, ou seja, áreas com baixa umidade relativa do ar. O desenvolvimento da Ilha seca em duas vias pela menor disponibilidade de vapor de água no ar reduzindo a umidade absoluta e dado as maiores temperaturas do ar nessas, gera uma queda ainda mais acentuada da umidade relativa que é proporcional a temperatura do ar.

Nas áreas urbanas as ilhas de frescor que são pontos onde se apresentam baixas temperaturas do ar são encontrada em pontos próximos a esses dois

elementos. Segundo Mendonça (2003) sua ocorrência se dá principalmente no período da manhã e início da tarde.

O calor antropogênico é segundo Gartland (2010) o calor produzido pelo homem que é gerado por edifícios, carros, equipamentos e pessoas. Como nosso clima tropical não necessita de aquecimento interno nas habitações, como nos climas temperados e frios como analisados por Oke (1987), nossa principal fonte de calor antropogênico são os veículos e os equipamentos para resfriamento artificial dos ambientes internos, com exceções de cidades com forte parque industrial.

O saldo de radiação é explicado por quatro processos representados pela Equação 3 colocada por Gartland (2010).

Saldo de radiação = radiação solar global - radiação solar refletida + radiação atmosférica - radiação da superfície

(Equação 3)

A radiação solar global é a quantidade de energia que entra no sistema. A Radiação solar refletida é quantidade refletida por uma superfície e varia de acordo com o albedo dessa superfície. Radiação atmosférica é o calor emitido por partículas aquecidas na atmosfera, como vapor de água e partículas de poluição. A radiação da superfície é o calor que é irradiado a partir de uma superfície. Todo corpo que possui energia, isto é, está aquecido, irradia calor sob a forma de ondas eletromagnéticas como nos explica Mendonça e Danni-Oliveira (2007) a quantidade de energia irradiada depende da sua temperatura, como nós descreve a Lei de Stefan-Boltzmann. Gartland (2010) descreve a equação (4) que representa essa lei para superfícies reais (não ideais, como corpo negro, onde ϵ é igual a 1):

$$\text{Energia real emitida} = \epsilon\sigma T^4$$

(Equação 4)

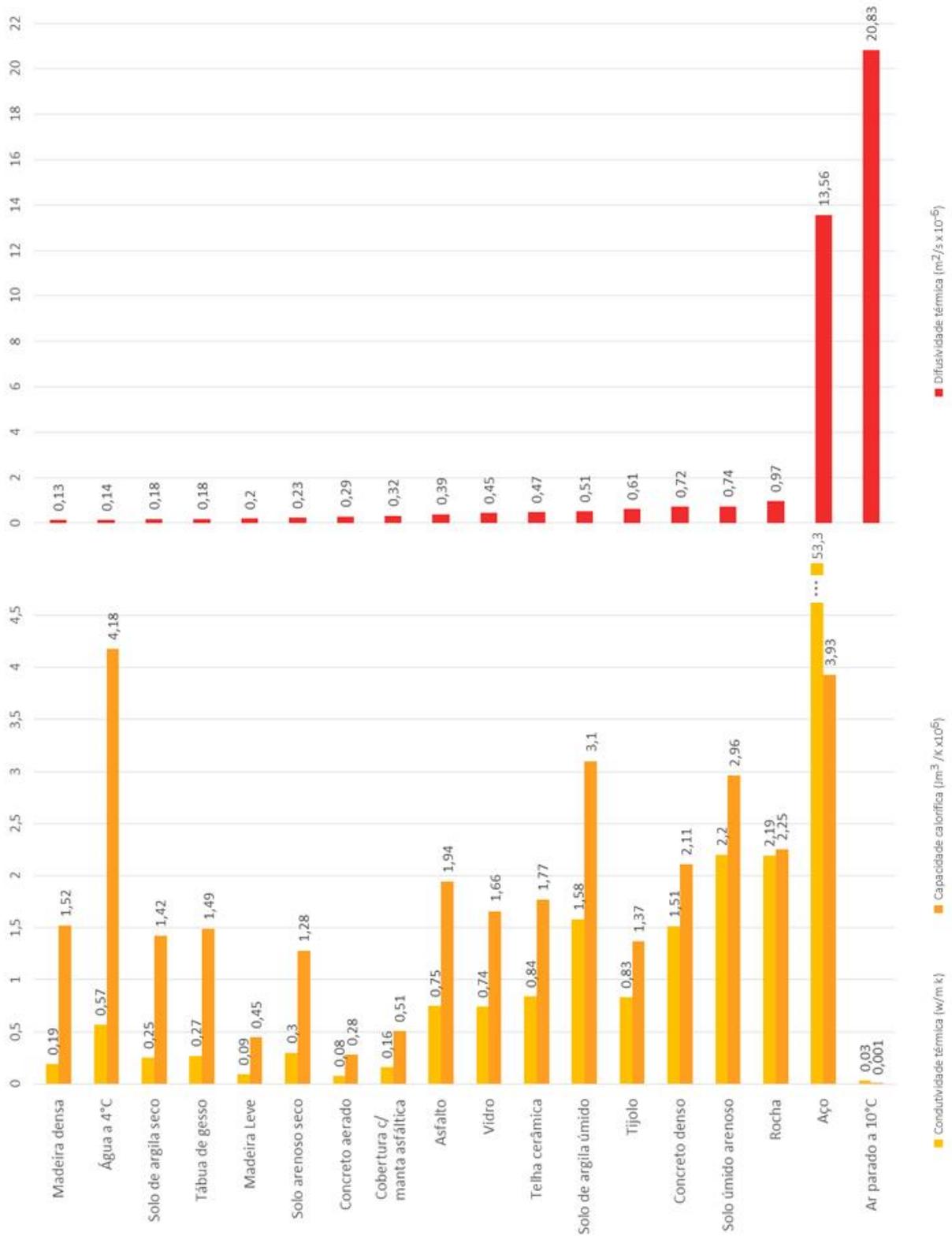
Onde:

ϵ = é a emissão da superfície que varia entre 0 e 1, quase todos materiais existentes tem valor em torno de 0,8 e 0,95, porém metais sem revestimento tem um baixo valor, próximo a 0,2 e 0,6;

σ = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$, chamado de constante de Stefan-Boltzmann;

T= Temperatura em graus Kelvin.

Gráfico 1 – Condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica de alguns materiais



Fonte: Adaptado de Gartland (2010, p.31)

Além disso a temperatura controla o comprimento de onda da radiação emitida (Lei de Planck). Quanto maior a temperatura menor é o comprimento da onda preferencialmente por ele emitida (Lei de Wien). A radiação emitida pelas superfícies para o ar também é de suma importância no aquecimento do mesmo, superfícies mais escuras irradiam mais calor para o ar.

Segundo Gartland (2010) nas áreas urbanas em comparação com ambiente natural o maior saldo no balanço de energia em alguns de seus microclimas se dá pela menor quantidade de energia refletida pelas superfícies, pela maior poluição que interfere na maior radiação atmosférica e pela maior difusividade que impacta em uma maior radiação da superfície. Quanto maior o valor da refletância (ou albedo) maior a quantidade de energia refletida, superfícies de cores claras e mais lisas possuem alta refletância.

No ambiente urbano amplas áreas são cobertas de asfalto que possui baixíssimo albedo. Materiais com maior emissividade contribuem para queda no saldo de radiação. No entanto os metais em geral possuem emissividade muito baixa e estão muito presentes em coberturas domésticas e industriais no Brasil.

A maior poluição não interfere somente na maior radiação atmosférica, mas durante o dia altera o balanço por diminuir a quantidade de radiação solar que chega a superfície. Esses dois efeitos são concorrentes para em termos do saldo de radiação e difíceis de separar, contudo no período da noite a poluição definitivamente contribui para o aumento do saldo de radiação e sua consequente influência sobre as ilhas de calor.

A orientação das fachadas dos edifícios em relação ao sol influi sensivelmente na quantidade de calor por ele recebido conforme mostra Mascaró (1991) a carga térmica recebida pode variar até 40% e consumo de energia quando bem orientado pode ser até de 32% menor. A orientação das fachadas deve levar em consideração a latitude do sítio urbano, além do vento regional dominante, de modo a minimizar a carga térmica recebida pelo edifício na região tropical e otimizar os ganhos térmicos no inverno e reduzir no verão na região subtropical.

Além da edificação isolada a geometria urbana ou a forma que os prédios e vias estão dispostos no espaço, segundo Gartland (2010) e Oke (1987), tem grande importância para o saldo de radiação.

A geometria urbana conforma os chamados cânions urbanos. Osaki (2016, p.29) explica que “o termo ‘cânion urbano’ caracteriza o conjunto de ruas entre blocos

densos de edificações, especialmente arranha céus, assemelhando-se ao cânion natural”. A forma do cânion urbano são três superfícies ativas: duas paredes e o piso (normalmente uma rua) entre dois prédios adjacentes.

Conforme Osaki (2016) as formas mais comumente utilizadas para representar a geometria urbana é o o cálculo da relação H/W (do inglês *height/width* ou em português altura/largura) e do fator de visão do céu (FVC ou em inglês SVF – *Sky view factor*).

O H/W é 0 para ambientes rurais, bairros com baixa densidade de edificações apresentam cânions com valores próximos de 0,25 ou 0,5, para áreas de alta densidade esperamos valores maiores como de 1,2 ou 3.

O cálculo do FVC, OKE (1987) define como a relação entre a quantidade de céu 'visto' de um dado ponto da superfície e aquele potencialmente disponível. O FVC é uma relação adimensional, em que 1 representa sem nenhuma obstrução e 0 totalmente obstruído

No interior dos cânions segundo Oke (1987) teríamos algumas alterações no balanço de energia que favoreceriam a uma anomalia térmica positiva. O cânion por ter maior superfície vertical “aprisiona” tanto a radiação direta do sol de ondas curtas, quanto a irradiada pela Terra de ondas longas.

A radiação solar ao atingir uma das superfícies do cânion em parte é absorvida, armazenada como calor, e em parte é refletida. A quantidade absorvida ou refletida depende do albedo da superfície, em geral os materiais usados nas construções urbanas possuem baixo albedo, ou seja, absorvem quase toda a radiação. Em um cânion existe grande possibilidade de parte da radiação refletida voltar a encontrar outra superfície e ser absorvida antes de sair para atmosfera.

O mesmo se dá para radiação de ondas longas. Essa energia que é emitida pelas superfícies aquecidas tende a encontrar com uma outra superfície no interior do cânion e ser armazenada como calor.

Quanto menor o fator de visão do céu maior será a chance de interceptação da radiação por outra superfície e conseqüentemente maior tempo de conservação dela no interior do cânion.

No ambiente urbano densamente construído com poucas áreas livres como nos centro das grandes cidades as ruas se tornam calhas por onde se dá circulação dos ventos, contudo dado a maior rugosidade do terreno que tende formar barreiras que reduzem a velocidade do vento, a geometria urbana favorece o decréscimo do

transporte de calor por turbulência. Como consequência do aumento da temperatura das superfícies e redução convecção causada pelos ventos temos um aumento da temperatura do ar.

A geometria urbana é uma das explicações entre a diferença térmica que se dá entre a cidade e a zona rural do seu entorno. Esse aquecimento do ar no interior do cânion se dá principalmente no período noturno e início da manhã. Segundo trabalho de Vianna et al. (2017), durante o dia em cânions profundos, baixo SVF e alto H/W, predominaria ou interferiria o efeito sombreamento sobre o efeito geometria na determinação das temperaturas de superfície e do temperatura do ar.

Outro aspecto dos cânions urbanos profundos é apontado por Mascaró (1996) ao estudar ambiência urbana em Porto Alegre. A autora constatou que em cânions onde a altura das edificações é maior que a largura da via verificou-se, dado a alta latitude, um grande déficit de iluminação natural. O que resulta na necessidade de iluminação artificial permanente, o que representa cerca 40% do consumo mensal de um edifício do setor de serviços e comércio.

A massa construída desses grupos de edifícios é outra variável importante quando se busca modelar o clima urbano, pois o maior volume construído irá exercer forte influência sobre o balanço de energia, principalmente sobre o termo de armazenamento de calor do balanço. Tso et al. (1990) mostrou que ao incorporar essa variável em seu modelo se obteve melhor correlação do modelo com as temperaturas do ar para a cidade de Kuala Lumpur na Malásia.

O ambiente climático urbano se manifesta então de forma diferenciada conforme as características naturais do seu sítio urbano, ou seja, de acordo com a latitude, formas do relevo, declividade, orientação das vertentes, altitude e vegetação existente sobre a qual a cidade foi construída. Esses são chamados os fatores geográficos do clima atuam sobre os clima atravessando todas as escalas do zonal ao microclima.

Como coloca Mendonça e Danni-Oliveira (2007) esses controles climáticos são responsáveis pelas diversificação das paisagens. A latitude como fator climático vai influenciar a quantidade de radiação recebida. Isso ocorre dado a inclinação do eixo terrestre e o movimento de translação que causa uma variação zonal e sazonal da energia recebida pela superfície terrestre. A latitude é o principal fator diferenciador do recebimento de energia de um local.

O relevo, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), é outro fator de suma importância na variação do clima local, que irá variar dado a altitude, orientação, declividade e forma. O ar úmido se resfria em geral 0,6°C a cada 100 metros, enquanto ar seco 1,0 °C. Por isso a altitude é determinante para o clima regional a qual um sítio urbano está inserido, além de ser fator de diferenciação dos topoclimas no interior da cidade.

A orientação das vertentes do relevo é de suma importância para o clima, conforme Ugeda Júnior (2011), vertentes voltadas para o norte no hemisfério sul recebem maior radiação solar, principalmente no inverno, e conseqüentemente sua superfície se aquece mais. Essa relação é mais importante nas áreas rurais, já que o ambiente urbano existem outros elementos que interferem no balanço de energia. Edifícios de grandes dimensões geram sombreamento em grandes faixas o que altera de sobremaneira a influência da orientação das vertentes.

A declividade de uma vertente dado a altura solar pode favorecer a incidência da radiação em ângulos mais próximos a 90° o que gera maior concentração de energia por área e conseqüente ter maior aquecimento. A declividade também é fundamental para o escoamento da precipitação e infiltração da água no solo.

Na Figura 7 temos a representação de diferentes formas sobre a qual se assentaram diferentes sítios urbanos. Em determinados estudos características do sítio urbano podem ser o fator preponderante para a determinação do clima local. Segundo Fialho (2009):

O conhecimento das feições topográficas do sítio é de extrema importância nos estudos climáticos, porque em pequenas distâncias dentro da própria estrutura interna das cidades existem significativas diferenças de microclima, oriundas da morfologia do solo e a presença ou não de vegetação.

Esse é um dos fatores que para a caracterização de uma ilha de calor urbana não basta apenas encontrar diferenças térmicas entre dois pontos intra urbanos ou rural-urbano. Devemos ser criteriosos ao afirmar a existencia de uma ilha de calor, pois simples diferenças podem estar relacionadas apenas a características microclimáticas explicadas por altitude, forma do relevo, orientação das vertentes, dinâmica urbana momentânea ou mudanças no sistema atmosférico atuante que conformariam campos térmicos momentaneamente diferenciados entre dois pontos, mas não uma ilha de calor propriamente dita, conforme discussão feita por Jardim e Ferreira (2005) e Jardim (2007).

Para se distinguir um fenômeno do outro é preciso estar atento a sua gênese e não apenas a sua aparência nas palavras de Jardim e Perez Filho (2004)

[...] não bastam as transformações ocorridas no âmbito dos elementos climáticos [...]. Mas, para legitimar o aparecimento do clima urbano, é preciso, mais do que isso, verificar o aspecto de encadeamento, de continuidade do fenômeno no tempo e no espaço.

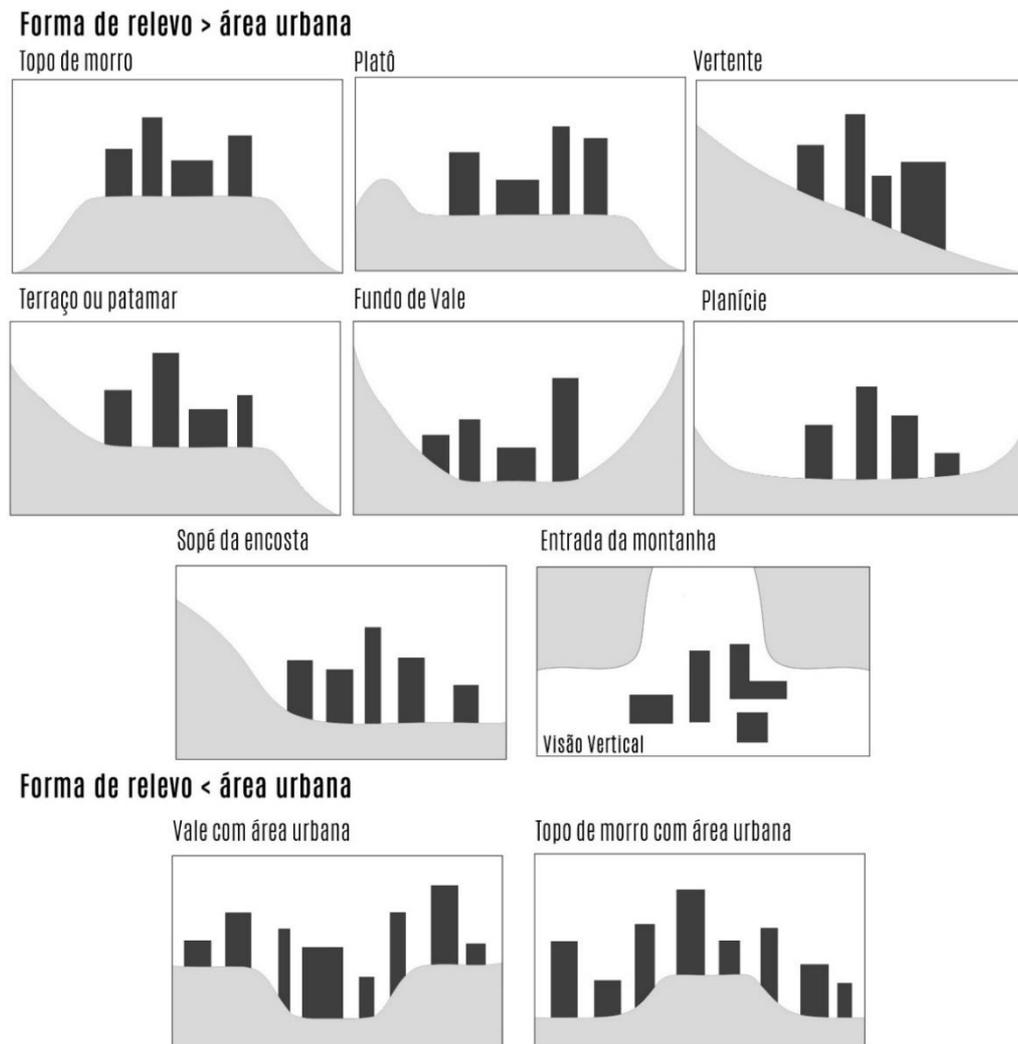
A análise de apenas de poucos episódios e em alguns horários não é suficiente para caracterizar o fenômeno, o monitoramento contínuo sob diferentes tipos de tempo se torna necessário para entender o comportamento térmico urbano.

Uma das características de cidades assentadas em sítios em fundo de vale conforme Fialho (2009) é a influência da brisa de montanha durante a noite e brisa de vale durante o dia. Em condições ideais semelhantes a das ilhas de calor, em sistemas anticiclônicos que geram baixa nebulosidade e intensidade de ventos você teria uma drenagem do ar frio do topo das encostas para o fundo do vale gerando nevoeiros e inversão térmicas.

Segundo Mascaró (1991) os vales ainda favoreceriam a formação de geadas e concentração de poluição fenômenos que estão relacionado a ventilação ou ausência dela nos vales sob determinadas condições atmosféricas.

A vegetação segundo Mascaró (1996) é um recurso eficiente que contribui para o controle da radiação solar indesejada, temperatura, umidade do ar, poluição, ação dos ventos e da chuva. Como objeto de uma composição arquitetônica contribui para uma ambiência urbana agradável. O sombreamento é uma das funções mais importantes da arborização, pois ameniza o rigor térmico no clima tropical. Isso se dá pela diminuição das temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações, melhorando a sensação de calor dos pedestres e dos motoristas dentro dos carros.

Figura 7 – Diferentes tipos de sítios urbanos

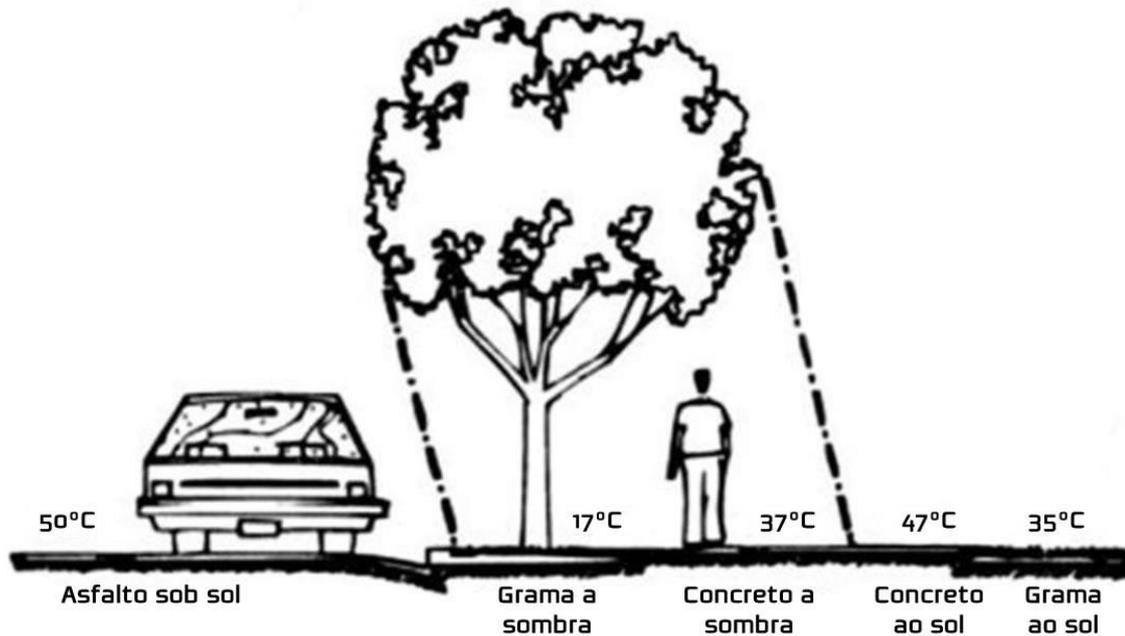


Fonte: Adaptado de Wanner e Filliger (1989, apud OKE, 2006, p.183).

Na Figura 8 temos a temperatura de diferentes superfícies urbanas, quando sombreado, por exemplo, o concreto fica até 10°C mais frio. As menores temperaturas de superfícies geram menor aquecimento do ar sobre elas, em relação a temperatura do ar sob grupamentos arbóreos ela é de 3 °C C a 4 °C menor que em áreas expostas a radiação solar.

A vegetação como barreira ao vento pode ser usada como recurso urbanístico segundo Mascaró (1996) de quatro formas: *bloqueio* do fluxo de ar, *deflexão* desviando o vento, *filtragem* reduzindo a velocidade do vento e *condução* direcionando o vento. Sendo esses recursos tanto podem favorecer a ventilação de forma a ampliar a convecção e a perda de calor, como amenizar os ventos frios de inverno.

Figura 8 – Temperaturas de superfícies urbanas e influência do sombreamento



Fonte: Adaptado de Laurie (1978, apud Mascaró e Mascaró, 2002, p.40).

Esses efeitos são conseguidos dependendo da forma e tamanho das copas das espécies utilizadas e da forma do grupamento das árvores, se isoladas, em grupamento homogêneo ou em grupamento heterogêneo. Árvores isoladas são a situação mais comum nas cidades, seus efeitos em amenizar o desconforto do microclima urbano contudo ficam restritos a área da sua copa.

Segundo Loboda e de Angelis (2005, p.131)

A qualidade de vida urbana está diretamente atrelada a vários fatores que estão reunidos na infra-estrutura, no desenvolvimento econômico-social e àqueles ligados à questão ambiental. No caso do ambiente, as áreas verdes públicas constituem-se elementos imprescindíveis para o bem estar da população, pois influencia diretamente a saúde física e mental da população.

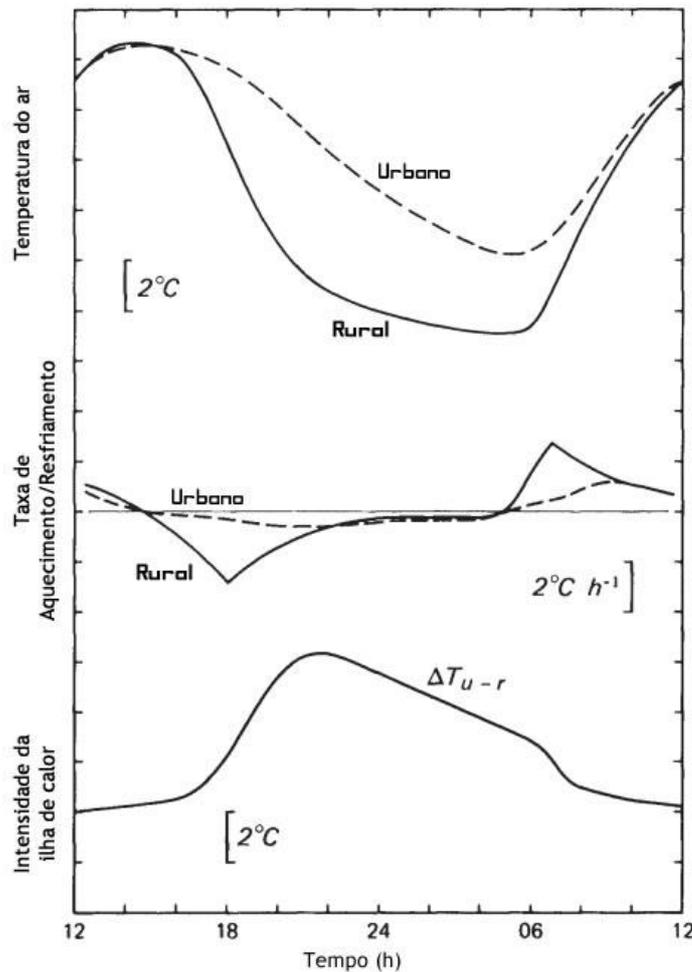
Apesar dos benefícios já conhecidos das áreas verdes e da arborização urbana, elas são muito escassas na maioria das cidades brasileiras.

O solo exposto sem cobertura vegetal, principalmente solos escuros, também apresenta elevada capacidade de absorver calor durante o dia, por isso em cidades com forte agricultura em períodos entre culturas pode haver um efeito de oásis urbano, onde áreas urbana vegetadas se mantem mais fresca que o entorno rural, algo relatado por Mendonça (2003) para cidade de Londrina e Ugeda Júnior (2011) para Jales em SP. A geologia também pode ser um fator climático relevante para alguns sítios urbanos, afloramentos rochosos criam superfícies que tem baixo albedo e que

podem se tornam elementos significantes para o aquecimento do ar em alguns topoclimas.

A intensidade ou força com que a ilhas de calor se manifesta vária temporalmente durante o dia conforme Gráfico 2.

Gráfico 2 – Variação ao longo do dia da intensidade da ilha de calor



Fonte: Adaptado de OKE, 1987

A intensidade da ilha de calor é baixa durante a manhã logo antes do nascer do sol e após o nascer do sol cai um pouco, pois a zona rural se aquecer rapidamente com o recebimento de radiação direta e difusa, enquanto a zona urbana se aquece mais lentamente. Com início da tarde a zona rural começa a perder calor a taxas maiores que a zona urbana que como estamos discutindo por diversos fatores perde calor mais lentamente o que gera um ar urbano mais aquecido, esses fatores aparecem resumidos na Quadro 2. O pico do fenômeno é algumas horas após o pôr do sol dado a diferença das taxas de resfriamento. A perda de calor é mais lenta no ambiente urbano o que mantém a temperatura do ar urbano muito acima do ar rural

pelas diversas características que viemos elencando. Após o pico a intensidade decresce pela perda contínua de radiação nos dois ambientes.

De modo geral podemos dizer que o ambiente urbano tem uma alta inércia térmica, ou seja, a sua temperatura varia de forma mais lenta, enquanto o ambiente rural tem comparativamente uma baixa inercia sua temperatura varia mais rapidamente. Resumindo os materiais utilizados no ambiente urbano alteram esse ritmo de ganho e perda de calor.

Quadro 2 – Resumo dos principais fatores que causam as ilhas de calor

Alteração dos termos do balanço de energia que levam a uma anomalia térmica positiva	Característica da urbanização subjacente a mudanças no balanço de energia
1. Aumento de absorção de radiação de ondas curtas	Geometria de Cânion – Aumenta a área de superfície e multiplica a reflexão
2. Aumento de radiação de ondas longas do céu	Poluição do ar – Maior absorção e re-emissão
3. Diminuição de perda de radiação por ondas longas	Geometria de Cânion – Redução do fator de visão do céu
4. Fonte de calor antrópico	Perda de calor de prédios e tráfego de veículos
5. Aumento do armazenamento de calor sensível	Materiais de construção – Aumento da admissão de calor
6. Diminuição da evapotranspiração	Materiais de construção – Aumento da impermeabilização
7. Decréscimo total de transporte de calor por turbulência	Geometria de Cânion – Redução da velocidade do Vento

Fonte: Oke (1987, p.294, tradução nossa)

Em relação a intensidade das ilhas de calor noturna García e Álvarez (2008) propoem uma classificação que reproduzimos no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação de Intensidade das ilhas de calor.

Variação (°C)	Magnitude
0°C - 2°C	Fraca
2°C - 4°C	Moderada
4°C - 6°C	Forte
> 6°C	Muito Forte

Fonte: Adaptado de García e Álvarez (2008)

As ilhas de calor segundo GARTLAND (2010) não causam apenas desconfortos adicionais devido as temperaturas mais elevadas, mas contribui para a

concentração de poluentes que geram sérios efeitos sobre a saúde e mortalidade da população. Como verificado por CASTILHO (2006) para Rio Preto onde no inverno foi encontrado uma íntima relação entre o fenômeno e aumento de doenças cardíacas e respiratórias. Além de gerar um problema econômico devido a maiores custos de energia decorrentes da necessidade de resfriamento artificial dos ambientes e todas as consequências adicionais para o meio ambiente devido a essa maior demanda de energia.

Esses aspectos podem ser resumidos na ideia que as ilhas de calor contribuem para uma piora global da qualidade de vida urbana. Dado as implicações do fenômeno para a qualidade de vida urbana torna-se de suma importância investigar suas causas e tentar minimizar seus efeitos. Pois como coloca Amorim (2000, p. 25):

O clima da cidade é produzido a partir de um jogo integrado entre o ar atmosférico e o ambiente urbano edificado pelo homem. Assim, a estrutura da cidade deve ser acompanhada de suas funções, a fim de compreender esse ambiente complexo. (AMORIM, 2000, p.25)

Caberia a sociedade, sob a forma do poder público, orientar o desenvolvimento da cidade de modo a levar o SCU a uma configuração mais adequada ao bem-estar dos habitantes da cidade.

1.5 REVISÃO DOS ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR EM CIDADES MÉDIAS E PEQUENAS

Mendonça (2003) investigou campos termo-higrométricos na cidade de Londrina-PR. Para isso se utilizou de 17 pontos de coleta com termo-higrômetros de leitura direta em miniabrigos de madeira e 2 transectos. Dados foram coletados em 4 horários (6h, 9h, 15h e 21h) no inverno e verão. Foi identificado ilhas de calor sobretudo noturnas com magnitude máxima de 10°C durante noites de verão sob domínio do Sistema tropical Atlântico, após ocorrência de veranicos quando solos escuros do entorno rural se encontram secos e nus, baixa inércia térmica dos mesmos. Os picos coincidiram com a área mais adensada da cidade. O trabalho salienta a importância do estudo do entorno da área urbana quando está situada em meio a regiões que possuem forte produção agrícola.

Amorim et al. (2009) buscam identificar em seu trabalho como a característica do uso e ocupação do solo, o padrão de urbanização e os materiais utilizados nas construções em Presidente Prudente contribuem para a produção do clima urbano e

suas implicações no conforto ambiental. Metodologia foi uso de imagens Landsat 7 e transecto móveis. Os autores encontraram ilha de calor com amplitude de 3,6 °C e 5,6 °C no verão e 4,9 °C e 9,6 °C no inverno. As ilhas de calor se deram na região central e em conjuntos habitacionais populares densamente construídos e que se utilizavam de materiais com baixa emissividade e reflectância o que contribui para maior aquecimento dos materiais. Autores destaca ainda a importância da vegetação, áreas densamente construídas, mas com maior presença de vegetação se mantiveram mais frescas que áreas similares com baixa presença de vegetação.

Fialho (2009) investiga a formação de um clima urbano em Viçosa utilizando análise dos dados históricos da estação meteorológica oficial da cidade e transectos móveis. Foram realizados transectos em três escalas: Campo-cidade, intra-urbana e no núcleo da área urbana. A análise dos dados históricos mostrou uma tendência do aumento da temperatura do ar entre 1970 e 2006, principalmente para aumento das temperaturas mínimas e máximas. Entre o campo e a cidade através da metodologia de transectos registrou gradiente térmico de até 4,7 °C em uma noite de inverno sob sistema Massa Tropical Atlântica, a média das medidas noturnas foi 3,8 °C. Na escala intra-urbana a diferença máxima se deu durante o outono foi de 4,8 °C durante transecto as 9h, 4,5°C as 15h, no horário 21h a maior diferença foi 3,4°C. Apenas na região central de Viçosa as maiores diferenças foram 2,2 °C as 5h sob MPA durante o inverno. Ao meio dia registrou máxima intensidade de 4,0 °C durante outono em local de grande fluxo de pessoas e veículos. As 19h diferenças máximas foram mais baixas de 1,2°C durante outono. Segundo o autor Viçosa apresentaria uma dinâmica atmosférica ligada a condição do seu sítio convergente e os mecanismos de ventos locais, brisas de montanha, associado a esse tipo de configuração do relevo. Durante a noite foram identificadas ilhas de calor na zona central da cidade e em zona residencial de elevada densidade e verticalização, sendo de maior intensidade uma ou duas horas após o pôr-do-sol. Em todas as estações do ano, a área central sempre se apresentou mais quente que o entorno, porém a abrangência da área aquecida era menor.

Ugeda Júnior (2011) utilizou de 13 mini termohigrógrafos digitais com dataloggers, 2 estações automáticas completas, sensoriamento remoto e transectos para identificar ilhas de calor na cidade de Jales-SP. Foi constatada diferenças significativas térmicas e higrométricas entre o rural e o urbano e no intra-urbano que caracterizam o desenvolvimento um clima urbano específico e a formação de ilhas de

calor. Foram identificadas alguns dias com diferenças de 10 °C com máximo de 14,2 °C. As áreas mais aquecidas foram as áreas mais densamente ocupadas próximo a região central, com decréscimo de temperatura em direção a periferia. Os distritos industriais apresentaram elevadas temperaturas de superfície. Também foram registradas altas temperaturas do ar nos conjuntos habitacionais, devido a densidade de ocupação, baixa vegetação e uso de coberturas de fibrocimento. No período de inverno devido à grande quantidade de solo exposto a zona rural se apresentou mais aquecida que a cidade no período diurno, com padrão clássico de ilha de calor apenas no período noturno.

Fialho (2015) busca mostrar a influência do aumento da mancha urbana sobre a temperatura do ar em Viçosa – MG. Para isso se utiliza de 14 termo-higrômetro com datalogger durante inverno de 2014. O trabalho verifica para área urbana uma correlação negativa entre o SVF e temperatura do ar, ou seja, quanto mais obstruído o horizonte maior a temperatura do ar, principalmente no período noturno. O uso da terra também mostra forte correlação com os aumentos da temperatura do ar. As maiores temperaturas se manifestaram no centro da cidade. A diferença média entre os pontos 11, centro da cidade, e ponto 2 rural foi em média 2,2 °C. O ponto localizado no lixão da cidade apesar de ser uma área rural se mostrou um dos pontos com a maior média máxima, além de ter registrado o episódio de máxima diferença de temperatura do ar de 7,1 °C entre ele e outro ponto rural. O autor suspeita que o relevo favoreça um maior tempo de exposição ao sol e forme uma barreira aos ventos favorecendo o aquecimento.

Teixeira (2015) busca investigar o clima urbano de Rancharia cidade de pequeno porte do interior do estado de São Paulo, considerando-se os elementos temperatura e umidade relativa. Utilizando como método o sensoriamento remoto, estações fixas com sensores digitais e transectos móveis. Procurando investigar as respostas térmicas de todos os tipos de usos e ocupação da terra urbana. Nas estações fixas foram encontradas diferenças de até 3,5 °C as 9h e 15h e intensidade de 4,4°C as 21 entre um ponto urbanos e o ponto rural. As maiores diferenças foram encontradas em áreas densamente construídas e com pouca vegetação, como em conjuntos habitacionais. Destaque para uma diferença térmica de forte intensidade de +4,5 °C e outra muito forte de 7,2 °C as 15h próximo ao balneário municipal em comparação a zona rural. Nos transectos foram encontradas amplitude de até 4,7 °C. As maiores temperaturas foram detectadas sob ação da massa Tropical Atlântica.

Foram detectadas ilhas de calor de moderada a forte magnitudes em condições de estabilidade atmosférica (céu claro e ventos fracos) tanto nos registros realizados nos pontos fixos como nos transectos móveis nos períodos representativos das duas estações do ano monitoradas. Nas ilhas de calor de superfície os alvos mais aquecidos foram as coberturas metálicas dos estabelecimentos industriais, os telhados de fibrocimento, as vias pavimentadas e os solos expostos.

Dubreuil et al. (2016) em seu artigo objetiva comparar a intensidade do fenômeno de ilhas de calor atmosféricas e de superfície em Rennes na França. O autor utiliza de uma rede estações fixas e sensoriamento remoto através do uso de imagens do satélite Landsat 5. Quando analisadas as estações fixas, foi encontrado resultado esperado de maiores temperaturas nas zonas mais urbanizadas quando comparadas a zona rural, com especial intensidade no período noturno. Foi correlacionado valores de temperatura de superfície e de temperatura do ar as 11h (horário que passa o satélite no local) sendo resultado de baixa correlação. Contudo relacionando a temperatura de superfície e a mínima absoluta foi obtida alta correlação de 0,77, no período de julho onde a vegetação está mais exuberante. Contudo as maiores temperaturas de superfície foram encontrada nas zonas industriais e as maiores temperaturas do ar na zona central, o que mostra que ICS e CIA são fenômenos distintos. Outra questão é que o horário de passagem do satélite diverge do horário de pico do fenômeno da ICA.

Collischonn e Ferreira (2017) vão investigar o clima intraurbano de Pelotas no Rio Grande do Sul utilizando-se de 10 termo-higrômetros sob diferentes estações. Objetivo era analisar mudanças de temperatura e umidade com base na geometria urbana e uso e ocupação do solo urbano. A zona central mais intensamente urbanizada e com maior obstrução do horizonte teve temperaturas maiores que à média. As menores temperaturas foram em locais onde o entorno possui maior vegetação. Um maior FVC levou a menores temperaturas urbanas, não somente em condições ideais, mas na média térmica. Dado a latitude elevada de Pelotas a análise da trajetória do sol no horizonte é de suma importância. Pois dado o grande sombreamento no inverno nem sempre as áreas centrais mais densas foram as mais aquecidas durante o dia, porém a noite estas ainda se resfriavam mais lentamente. O ponto de coleta próximo a um curso de água teve temperaturas e umidade abaixo da média em 70% dos registros, porém não foi o mais frio confirmando efeito atenuador de corpos hídricos na temperatura. Sob atuação da mTa no verão durante a

madrugada ocorreu amplitude máxima de 3,5 °C. Pela manhã as 10h a variação entre os pontos 9 e 10 foi de 6,2 °C, ponto 9 caracterizado por residencial de baixa densidade de ocupação com casas com jardim e ponto 10 por corredor verde ou praça. A tarde as 16h30 foi registrado diferença de 8,5°C entre ponto 4 pertencente a classe de áreas densamente urbanizadas com prédios de 2 a 10 andares e o ponto 1 próximo ao canal. Sob condições de atuação do sistema anticiclônico polar pós-frontal que se caracteriza céu encoberto e garoa as diferenças intraurbano de temperatura são muito pequenas. No inverno sob atuação do anticiclone polar que de madrugada tivemos diferenças máximas de 4,3 °C entre o ponto 8 (praça) e 3 (densamente urbanizado). A tarde a diferença de 5,2 °C entre o ponto 3, densamente urbanizado e o ponto 1 junto ao canal.

Paulo e Alves (2015) buscam estudar a variação termo-higrométrica entre cidades da zona da mata mineira. Buscando elucidar diferenças em termos do sítio urbano dessas cidades em relação com a sua topografia, principalmente a altitude. Além de diferentes condições sinóticas. Para isso foram utilizados registradores automáticos que registraram dados horários de temperatura durante verão 2013 e início 2014. Os municípios estudados formam um transecto que parte de Ponte Nova até Ubá, passando pelos municípios de: Teixeiras, Viçosa, São Geraldo e Visconde do Rio Branco. Esse percurso atravessa duas bacias a do Rio Doce e do Paraíba do Sul, separadas pela escarpa de São Geraldo uma elevação de 779 metros. O autor encontrou forte correlação da temperatura do ar com a altitude. Os pontos mais aquecidos foram os pontos localizados no Golfão de Ubá e o ponto 1 em Ponte Nova, pontos que possuem menor altitude. Em específico o ponto 9 em Visconde do Rio Branco concentrou os valores máximos. Segundo o autor isso pode ser explicado pelo arco montanhoso ao redor do Golfão que age dificultando a dissipação do calor produzido em seu interior mesmo a área estando a barlavento da escarpa, o que deveria produzir menores temperaturas. O ponto de menores temperatura foi o ponto localizado no alto da Serra de São Geraldo As maiores diferenças se deram sob Sistema Tropical Atlântico, que proporciona estabilidade atmosférica.

Pimentel (2017) vai investigar o comportamento térmico no fundo vale do Paraibuna na cidade de Juiz de Fora – MG. Para isso a autora se utiliza de um modelo geoespacial, dados sensoriamento remoto e transectos móveis. Através do modelo a autora interliga diversas variáveis que tem ampla relação com o aquecimento do ar urbano. A autora obtém boa correlação da previsão do seu modelo com os dados de

temperatura de superfície. Com uso de transectos no período do inverno a autora encontrou diferenças acima de 6 graus Celsius entre a região central e bairros mais periféricos e/ou próximos a uma região de resquício de mata atlântica.

2. METODOLOGIA

Oke (1987) destaca que idealmente gostaríamos de ter um conjunto extenso de medidas pré-urbanas dos elementos meteorológicos de uma região, com a qual seria possível comparar os dados climáticos atuais para identificar qual o grau de influência do efeito da urbanização da cidade sobre o clima regional. Mas isso não é possível, por isso busca-se metodologias para tentar aproximar do grau de modificação exercido pela cidade sobre o clima.

Diversas metodologias são aplicadas na busca da identificação do fenômeno de ilhas de calor. Ferreira (2014) ao fazer uma extensa revisão bibliográfica aponta que podemos separar esses métodos em quatro eixos de investigação. Aqueles atrelados a séries temporais climatológicas de estações oficiais com uso de análises estatísticas. Os que se valem de uma rede de monitoramento de estações fixas. Os que se apoiam em transectos móveis. Os baseados em sensoriamento remoto, que se utilizam em geral de imagens de satélites. No campo da modelagem temos ainda os modelos de balanço de energia, que buscam simular a forma que a energia percorre e é alterada pelo sistema urbano e os modelos numéricos que são utilizados para a análise da atmosfera da cidade.

O método de estações fixas segundo Gartland (2010) é o mais simples e comum para analisar uma ilha de calor. Nesse método a análise é feita através da comparação de dados obtidos em locais diversos na cidade. Os dados são utilizados de três formas: a comparação pode ser entre duas estações uma rural e uma urbana; uso de múltiplas estações de modo a representar as diversas formas de uso e ocupação do solo urbano; Investigação de dados históricos de uma única estação para avaliar tendências de aumento de temperatura ao longo dos anos de acordo com a evolução da sua mancha urbana.

O método do transecto móvel consiste em seguir um trajeto pela cidade coletando medidas de temperatura em locais representativos de padrões de uso e ocupação do espaço urbano, orientação das vertentes e relevo. Em geral se inicia nas áreas rurais em direção ao centro da cidade, passando por zonas industriais se existirem. Espera-se que o centro da cidade por suas características de maior densidade de construções e nas zonas industriais dado os materiais construtivos usados na arquitetura industrial e o calor antrópico gerado nas instalações, sejam locais onde se tem a formação de ilhas de calor.

Sensoriamento remoto conforme Florenzano (2007) é a tecnologia de obtenção de dados de energia, seja refletida ou emitida da superfície terrestre. O termo remoto vem pelo fato que em sua maioria os sensores estão em satélites ou em aeronaves, i.e., longe da superfície onde os dados são coletados. Gartland (2010) indica que o sensoriamento remoto permite captar características e temperaturas da superfície urbana a partir dessa energia refletida e emitida por elas. Vale destacar o clássico trabalho de Lombardo (1985) para a metrópole de São Paulo como sendo o primeiro no Brasil a se utilizar de imagens de satélites para o estudo de ilhas de calor.

Conforme comenta Ferreira (2014) a maioria dos trabalhos no Brasil, e conforme visto na revisão bibliográfica, mesclam o uso das abordagens apresentadas de estações fixas, transectos móveis e sensoriamento remoto com objetivo de validar os resultados encontrado em um dos métodos, buscando maior fidelidade ao complexo atmosférico urbano. Outros métodos como os métodos de sensoriamento vertical e balanço de energia em geral são pouco trabalhados no Brasil devidos aos custos dos balões e drones, no sensoriamento vertical, e de piranômetro, albedômetro, radiômetro e pirogômetro para o cálculo do balanço de energia local.

Segundo Fialho (2009) existe uma confusão quando se refere ao termo ilha de calor e seus métodos de identificação, em sua tese identifica três tipos de ilhas de calor: atmosférica, vertical e de superfície. Essa diferenciação, segundo o mesmo, é necessária dado ao fato dos estudos utilizarem diferentes métodos de monitoramento, ao utilizarmos o termo genérico de “ilha de calor”, segundo o autor, cria-se uma falsa impressão de que está se analisando o mesmo fenômeno.

As ilhas de calor atmosférica é o fenômeno identificado, normalmente com o uso da metodologia de estações fixas e transectos móveis. As ilhas de calor verticais são monitoradas pelo uso de balões meteorológicos e as ilhas de calor de superfície são identificadas pelo uso do sensoriamento remoto. Dubreuil et al. (2016) também adotam o termo de ilha de calor de superfície (ICS) ao utilizar imagens de satélite, em contraposição ao termo ilha de calor atmosférica (ICA) adequado a mensuração por rede de estações fixas. Neste trabalho quando se refere somente ao fenômeno ilha de calor, está sendo considerado o fenômeno de ilha de calor atmosférica.

O modelo proposto por Ferreira (2014) busca através de diversas variáveis como: massa construída, fator de visão do céu, taxa de impermeabilização, poluição do ar, albedo, emissividade dos materiais, áreas verdes, áreas livres e água reconstituir o clima urbano, no que tange as variáveis que podem potencializar ou

minimizar a temperatura do ar no ambiente urbano. A autora propõe através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) a constituição de um modelo digital do ambiente que revela a potencialidade de uma área, dadas suas características, de desenvolver uma anomalia térmica.

Nesse trabalho como na maioria dos trabalhos pretendemos mesclar técnicas, a modelagem de potencial de aquecimento da área urbana com base no trabalho de Ferreira (2014) será subsidiada e validada pelos métodos de estações fixas e sensoriamento remoto.

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

A utilização do sensoriamento remoto para identificação de anomalias térmicas tem como vantagem segundo Gartland (2010) a sua capacidade de permitir visualizar a temperatura de superfície simultaneamente de grandes áreas. Contudo ela não mensura a temperaturas das paredes das edificações e sob as árvores. Também não captura a temperatura do ar foco de investigação desse trabalho. Fialho (2009) destaca que muitos trabalhos não distinguem a temperatura de superfície da temperatura do ar e que essas não podem ser consideradas equivalentes.

A temperatura do ar é mensurada dentro do meio urbano a temperatura de superfície é obtida pela leitura de sensores à distância, que captam a temperatura da superfície dos objetos, em uma área (dependendo da resolução) que corresponde a um "pixel" na imagem, é a soma das componentes individuais (árvores, vias, edifícios, zonas de sombra, etc.) ponderada por suas respectivas superfícies, refletindo, portanto a temperatura do elemento mais representativo que o compõe. (FIALHO, 2009, p.75)

Contudo como colocado por Amorim et al. (2009) as imagens de temperatura de superfície refletem o uso e ocupação do solo, ajudando a identificar fontes de calor dentro da área urbana que contribuem para a formação das ilhas de calor atmosférica.

Para o estudo da ilha de calor em Ubá partiu-se do sensoriamento remoto como forma de identificar as variações de temperatura de superfícies, delimitando áreas de temperaturas mais altas, porque essas superfícies podem ocasionar em maiores temperaturas do ar. Essas informações também guiaram a seleção de áreas de coleta de dados de temperatura do ar.

Para identificação das superfícies mais aquecidas, que conformam ilhas de calor e de frescor de superfície, nesse trabalho foram utilizadas as imagens do

Landsat 8 fornecidas pelo USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Especificamente a banda 10 (sensor TIRS), que equivale a faixa do espectro do infravermelho com comprimento de onda de 10,6 a 11,19 μm , essa imagem possui resolução espacial de 100m, mas disponibilizadas reamostradas para 30m.

Foram utilizados os dados provenientes da banda 10, pois segundo Montanaro et. al (2014) ao comparar as bandas térmicas 10 e 11 do Sensor Infravermelho Térmico (TIRS) do satélite Landsat 8 a banda 11 apresentou erros de banda e calibração absoluta causados por a luz difusa que aumentavam a temperatura de superfície em até 8° K, enquanto esse erro na banda 10 era metade, de até 4° K. Os erros variam ao longo da cena e dependem da radiância fora do campo de visão do instrumento, por isso não podem ser corrigidos. Por esse motivo os autores recomendam o uso da banda 10.

Foram selecionadas imagens com baixa incidência de nuvens e em períodos de 12 de janeiro de 2015 representativa da estação quente e chuvosa e de 23 de julho de 2016 representativa da estação fria e seca. O horário das imagens é de 12:51h UTC ou 9:51h em horário local.

Foi utilizada a metodologia de Santos et al. (2014) para a partir da radiância aparente se chegar a valores de temperatura de superfície. Os instrumentos imageadores como o TIRS (Thermal InfraRed Sensor) tem como produto valores de radiância aparente captada e disponibilizada como número digitais (DN) eles foram convertidos para radiância espectral no topo da atmosfera (L_λ). Depois esses valores foram processados para se chegar em temperatura de brilho em Kelvin (K) depois transformado em graus Celsius (°C). Esse procedimento é de suma importância, como coloca Voogt e Oke (2003), por ser uma medida indireta a temperatura de superfície necessita dessas correções.

As classes de temperatura das imagens foram geradas automaticamente por quebras naturais.

Esse método apresenta como principal limitação o fato que o período de captura das temperaturas de superfície pelo Landsat 8, ocorre no horário das 9:51h, não coincidindo com o horário de maior intensidade das anomalias térmicas urbanas, grande parte das superfícies tem seu pico de temperatura de superfície na parte da tarde e as ilhas de calor atmosférica se manifestam com maior intensidade durante a noite. Problema semelhante encontrado por Dubreuil et al. (2016) com o Landsat 5.

Entretanto podemos utilizar o sensoriamento remoto como um indicativo inicial das áreas com maior contribuição para o desenvolvimento das ilhas de calor atmosféricas.

Para a construção dos mapas de hipsometria, declividade e orientação das vertentes foram utilizados dados do projeto Topodata que são elaborados tendo como base os dados do SRTM, mas refinados para uma resolução espacial de 30 metros. Os dados adquiridos foram trabalhados em software de Geoprocessamento o ArcMap 10.2 utilizando as funções para superfícies (*Surface*) da ferramenta *Spatial Analyst Tools* que geram esses produtos cartográficos.

2.2 - ESTAÇÕES FIXAS

Os locais a serem escolhidos, como alerta Gartland (2010), na zona urbana deve representar as práticas construtivas típicas da cidade e na zona rural representar de melhor maneira a forma do uso rural. Em geral as medições do ar urbano são feitas no nível do “dossel” urbano, isto é, volume de ar abaixo do nível dos telhados e árvores. Com as estações fixas busca-se captar o horário de pico da ilha de calor.

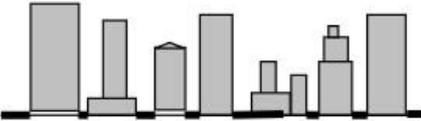
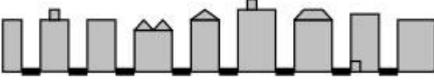
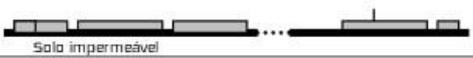
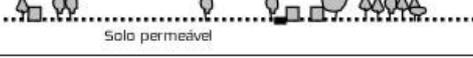
Fialho (2009) aponta como fator limitante desse método o fato de ao usar apenas dois pontos você poder estar subestimando ou superestimando os resultados em razão da localização desses pontos. Existe a dificuldade operacional de definir os pontos representativos do que é o uso e ocupação urbano característico da cidade e o que é o rural. Outro problema é o custo operacional e logística para o uso desta metodologia. Como ponto positivo coloca que permite observações simultâneas dos pontos e os dados são bem representativos do ritmo do balanço de energia.

Oke (2006) propõe uma classificação de zonas climáticas urbanas como mostra Figura 9. Essa classificação não tem como objetivo descrever perfeitamente as características do sítio, mas classificar em zonas urbanas que tem semelhante capacidade em modificar o clima local e identificar zonas de transição. As categorias podem ser adaptadas para formas urbanas especiais.

Foram instalados 8 pontos de coleta de dados, sete na área urbana e um nos arredores rurais (7,5 km do centro da cidade, porém pertencente politicamente ao município de Tocantins).

Amorim (2000) diz ser fundamental a observação de múltiplos pontos, pois possibilita o registro dos elementos climáticos em diferentes pontos da cidade que irá contribuir para o entendimento das transformações de energia no interior da cidade.

Figura 9 – Classificação de zonas climáticas urbanas

Zonas Urbanas Climáticas	Imagem	Classe de Rugosidade	Zh/ W	% Área construída [Impermeável]
Intenso desenvolvimento urbano com altos edifícios revestidos próximos, exemplo: arranha céus da zona central		8	> 2	> 90
Intenso desenvolvimento urbano com alta densidade de edifícios de 2 -5 andares anexos ou muito próximos, exemplo antiga área central		7	1.0 – 2.5	> 85
Altamente desenvolvido, média densidade urbana com casas, lojas e apartamentos em fila ou bem próximos, ex: bairros residenciais.		7	0.5 – 1.5	70 - 85
Alto desenvolvimento, baixa ou média densidade urbana com grandes edificações baixas, estacionamentos pavimentados, ex: shoppings, hipermercados e armazéns	 Solo impermeável	5	0.05 – 0.2	70 - 95
Desenvolvimento médio, baixa densidade suburbana com casas de 1 ou 2 andares, ex: Zona suburbana, condomínios privados		6	0.2 – 0.6, Até > 1 Dependendo da vegetação	35 - 65
Uso misto com grandes edificações em espaços abertos, por ex. instituições como hospital, universidade e aeroporto		5	0.1 – 0.5, Depende da vegetação	< 40
Desenvolvimento Semi-rural, casas espalhadas em área de vegetação natural ou rural, ex. fazendas, sítios, granjas.	 Solo permeável	4	> 0.05, Depende da vegetação	< 10

Fonte: Oke (2006)

A localização dos pontos de registro buscou representar diferentes características de usos e ocupações da cidade identificados a partir do sensoriamento. Tendo como critério temperatura de superfície, o uso e ocupação, densidade de edificações, proximidade de resquícios de mata, concentração de galpões industriais, cursos d'água e relevo. Foi considerado na escolha, que os pontos fossem distribuídos ao longo da mancha urbana. Contudo as escolhas foram limitadas pela disponibilidade de locais seguros para deixar o equipamento. A estação da zona rural também foi instalada de modo a representar o típico uso e ocupação, foi instalada em local

dominante de pastagens degradadas que substituíram a antiga mata atlântica que existia na região.

A utilização de mais de duas estações minimiza problemas apontados por Fialho (2009) e permite uma análise mais verdadeira da cidade, pois capta seus diferentes microclimas derivados dos usos e ocupações diversos em seu interior.

O Período de coleta dos dados foi de 17 de janeiro a tarde do dia 28 de janeiro no verão de 2018, totalizando 43 dias. Pois concordamos com a preocupação levantada por Amorim (2000) em relação a quantidade de dias de levantamento de campo e o problema de generalizações exageradas suportada por poucas observações:

Grande parte dos estudos realizados considerou episódios relativamente curtos, inferiores à quinze dias e muitos deles fizeram generalizações a partir destes episódios. O número maior possível de dias permite a compreensão das diferentes respostas dadas pela superfície, de acordo, com a atuação dos sistemas atmosféricos atuantes. As leituras horárias são fundamentais para a compreensão da evolução diária da temperatura de acordo com as características da superfície. (AMORIM, 2000, p.43)

Não foram feitas coletas no inverno, pois ao analisar as imagens termais do Landsat 8 do município durante o inverno as temperaturas de superfícies eram muito homogêneas. Concorda-se com o dito por Gartland (2010) no que tange o fenômeno de ilhas de calor durante o inverno o efeito pode ser até ser ligeiramente positivo em relação ao conforto térmico. Neste trabalho ressaltou-se os aspectos negativos do fenômeno, dado o clima tropical predominante na maior parte do país seus efeitos durante o período quente são mais significantes, pois se somam a um clima já naturalmente de elevadas temperaturas do ar ampliando a sensação de desconforto térmico.

2.2.1 Equipamentos utilizados

Para a coleta dos dados de temperatura do ar urbano foram utilizados termômetros com *data logger* da marca Hobo, modelo UA-001-64, Figura 10. O equipamento tem dimensões de 58x33x23 mm e peso de 15g, sendo bem compacto. Suas principais especificações de operação são: faixa de medida de -20°C a 70°C, acurácia de +- 0,53°C de 0° a 50 °C, resolução 0,14 °C a 25°C e tempo de resposta de 10 minutos ao ar livre de 2,5 m/s. Os equipamentos foram ajustados para coleta de dados de 10 em 10 min.

Os aparelhos passaram por um processo de calibração. Durante 10 dias foram deixados juntos dentro do abrigo padrão do INMET na estação climatológica de Juiz de Fora. Foi escolhido um registrador como padrão, durante as 2854 leituras instantâneas os demais variaram em torno de $\pm 0,5$ °C em relação a este, dentro das especificações técnicas do produto, na média final do período conforme esperado a variação foi 0 da leitura de todos outros registradores para o registrador padrão.

Figura 10 – Termômetro com *data logger*



Fonte: Hobo (2018)

2.2.2 Abrigos utilizados com os equipamentos

Para uso em ambientes externos há a necessidade de abrigar o sensor de temperatura da exposição direta a radiação do sol com objetivo de coletar apenas a temperatura do ar. Para isso foi construído e comparados alguns abrigos para serem utilizados com o equipamento, representados na Figura 11.

O abrigo utilizado pelo INMET em estações meteorológicas oficiais foi tomando como base para o comparativo, sendo o abrigo ideal. O abrigo do INMET é de grandes dimensões de madeira pintado de branco com dupla veneziana, Figura 11a.

Foram criados dois abrigos de isopor feitos com uso de duas camadas, um copo de isopor internamente e uma tampa de um porta garrafa de isopor de 1 litro, Além dessas camadas foi colocado uma cobertura “chapéu” feita por um prato de

isopor com objetivo de isolar e sombrear parte das superfícies do abrigo, Figura 11b. Na Figura 11c, o mesmo abrigo sem a cobertura do prato de isopor.

Outro abrigo testado foi o modelo de PVC, Figura 11d, semelhante ao utilizado por Quina (2016) e por Fialho (2015) em sua monografia sobre condicionantes térmicos sobre o comportamento térmico em Viçosa.

Além desses abrigos testamos um modelo de pratos de metal pintado de branco como é comumente usados em estações automáticas, Figura 11e. No caso o abrigo foi retirado da estação da Oregon modelo WMR928NX trocando o sensor original pelo pedante da Hobo e foi colocado um prato de isopor adicional em cima dos pratos de metal.

Além desses dois foram criados dois abrigos de isopor feitos com uso de duas camadas, um copo de isopor internamente e uma tampa de um porta garrafa de isopor de 1litro. Em um deles além dessas camadas foi colocado uma cobertura “chapéu” feita por um prato de isopor com objetivo de isolar e sombrear parte das superfícies do abrigo.

Figura 11 – Abrigos testados

a)



b)



c)



d)



e)

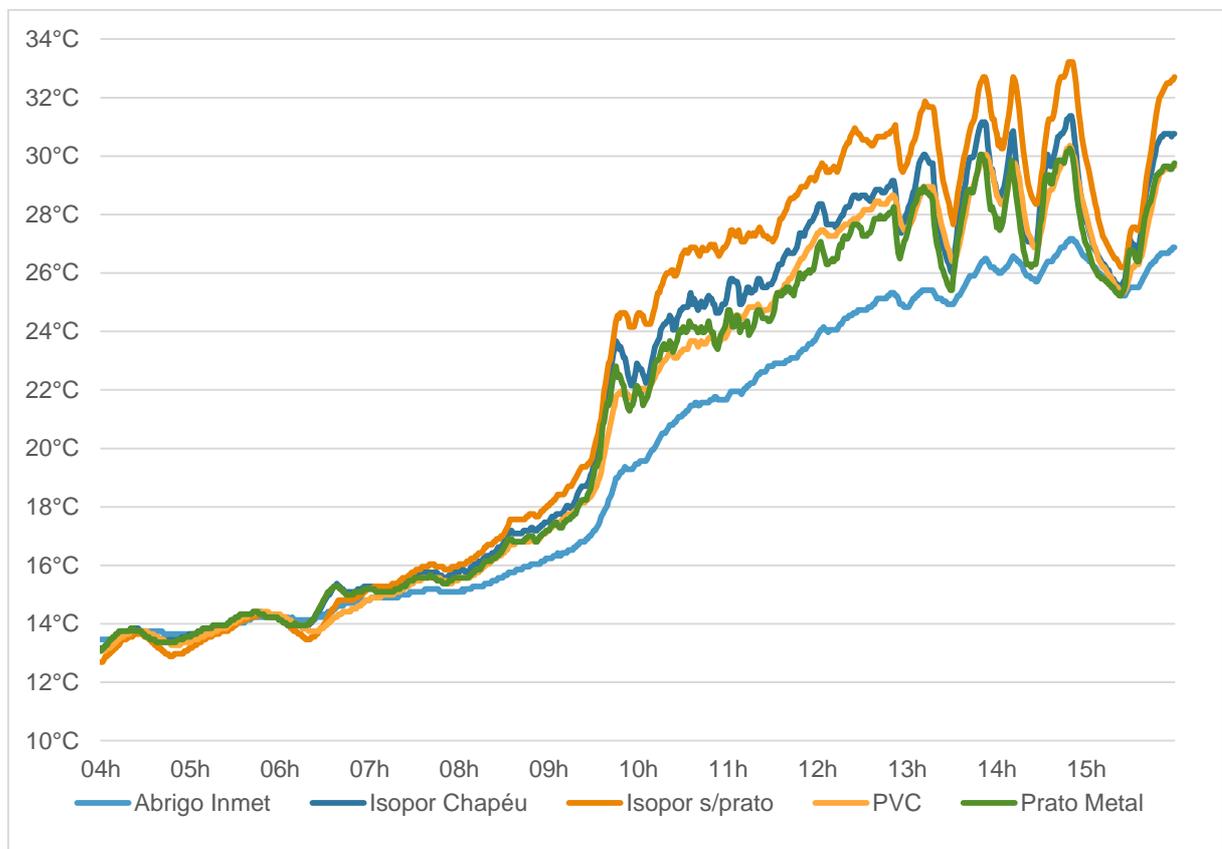


- a) Abrigo do INMET
- b) Isopor Chapéu
- c) Isopor sem prato
- d) PVC
- e) Prato Metal

Fonte: Elaboração própria

Para o teste todos abrigos foram instalados dentro da estação meteorológica de Juiz de Fora sobre grama a 1,2m de altura e deixados durante oito dias sob diferentes condições. Foram feitas várias configurações de testes adicionais em outros dias. O abrigo da Oregon de pratos de metal apresentou temperatura de superfície¹⁴ mais baixa quando coberto por um prato de isopor como na Figura 11e. Foi testado se a haste de madeira exerceria influência sobre a temperatura registrada em comparação com a amarração livre em um cabo de aço como está amarrado o abrigo de PVC. Parte do resultado do comparativo está no gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparativo entre abrigos



Fonte: Elaboração própria

Analisando os dados percebemos que nenhum dos abrigos testados conseguem exercer um isolamento da radiação direta de forma eficiente como o abrigo oficial do INMET. Com o nascer do sol e a radiação direta todos abrigos testados registram um aquecimento do ar maior que o registrado pelo mesmo equipamento dentro do abrigo oficial.

¹⁴ Mensurada com um câmera térmica

Esse problema e a causa ficam mais claros quando o Sol fica encoberto temporariamente por nuvens. Com o sombreamento as temperaturas do ar registradas por eles oscilam muito rapidamente com seus valores caindo e ficando mais próximos ao abrigo de referência. Com a volta da radiação direta os registradores aquecem rapidamente, refletindo não mais apenas a temperatura do ar, mas também o aquecimento do material do abrigo que protege o sensor. A diferença entre o abrigo com melhor desempenho, que o de prato de metal da Oregon e o abrigo oficial chega a 3,8°C quando o primeiro se encontra sob radiação solar direta.

Durante a noite quando não ocorre a radiação solar todos registradores registraram temperaturas do ar praticamente idênticas, variando apenas dentro do erro do equipamento +- 0,5°C.

Por isso as temperaturas do ar diurnas captadas por esses sensores devem ser usadas no máximo de forma relativa ao se comparar valores entre diferentes estações e nunca de forma absoluta como temperatura do ar livre. Preferencialmente ainda devem ser utilizadas sob a forma de média de modo a eliminar o sombreamento diferencial que pode ocorrer entre os pontos de coleta dos dados. Pois ao se trabalhar com valores instantâneos pode-se incorrer no erro de a diferença encontrada entre dois pontos serem valores apenas temporários que representam a diferença de nebulosidade entre dois pontos e não reflexo as características do microclima local que tem sua origem em diferentes formas de uso e ocupação.

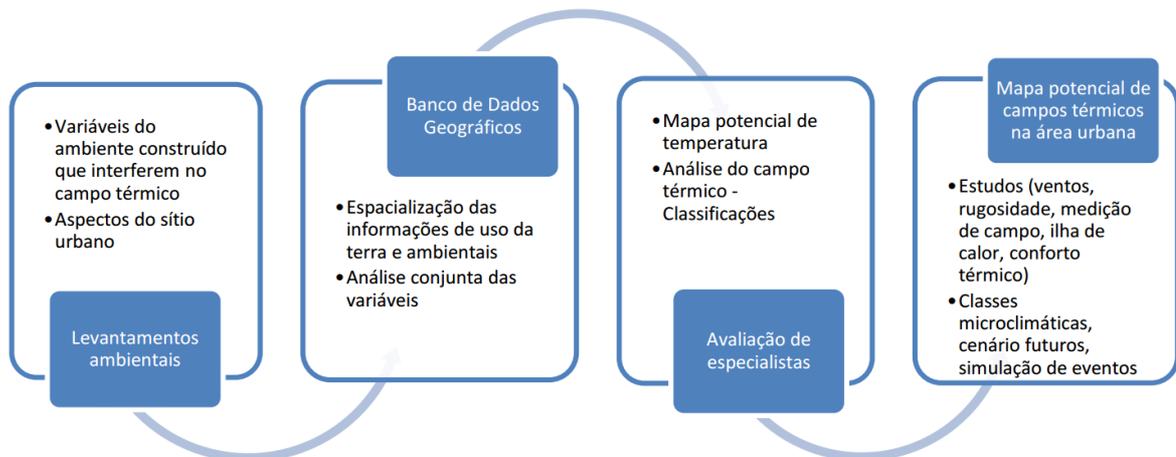
Dado esses resultados e ciente da limitação desses abrigos se optou pelo abrigo de isopor com prato de isopor na cobertura, Figura 11b, sua eficiência é próxima ao do abrigo de PVC com uma diferença mais ou menos constante de +2°C e em relação ao abrigo de pratos de metal da estação da Oregon de +1,8°C.

Como todos registradores são idênticos todos apresentariam erro semelhante durante o dia, relativamente entre eles e o erro seria próximo a zero. Sua vantagem reside no peso, dimensão e custo. Dado a logística necessária para instalar o equipamento em áreas urbanas quanto mais compacto o equipamento mais fácil é encontrar locais e pessoas dispostas a ceder espaço para instalação dos mesmos. Equipamentos mais pesados e maiores precisam de uma base para sustentação maior e mais pesada. Mesmo com base pequena feita de galão de produto de limpeza e sob chuvas fortes com ventos durante os testes o equipamento não tombou.

2.3 MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO

O modelo proposto por Ferreira (2014) busca através da aglutinação de diversas variáveis caracterizar as alterações no ambiente urbano e sua influência sobre o ar urbano. Este modelo, Figura 12, permite através da incorporação de características físicas (clima, topografia, hidrografia, relevo etc.), de características bióticas (vegetação) e socioeconômicas (que aparecem como elementos derivados pelo homem na paisagem, como edifícios, formas de uso do solo, vias de circulação, áreas verdes, etc.) ter uma visão geral do ambiente. Para operacionalizar esse modelo se torna de suma necessidade o uso de um SIG (Sistema de Informação Geográfica), pois ele é a ferramenta apropriada para lidar com grandes números de variáveis que tem como principal atributo a sua localização espacial. Além de permitir diagnóstico de uma área, o SIG permite classificações, simulações e cenários prospectivos.

Figura 12 – Proposta metodológica de análise do potencial térmico



Fonte: Ferreira (2014)

O modelo permite identificar áreas potencialmente quentes ou frias em função de um conjunto de variáveis que representam as características que contribuem para alterações no campo térmico urbano.

2.3.1 Levantamento das variáveis para aplicação do Modelo de Potencial Térmico (MPT)

Para a aplicação do Modelo de Potencial Térmico (MPT) é necessário criar um banco de dados geocodificado, onde os diversos dados apareçam também com o atributo locacional. Essas variáveis darão origem aos mapas básicos que o primeiro passo da metodologia.

Oke e Stewart (2012) definem que a área de influência dos sensores de temperatura é a área de aquecimento superficial da qual deriva a temperatura do ar e que por transporte turbulento é lida pelo sensor. Esse valor pode se estender de metros a quilômetros, dependendo da altura do instrumento, geometria da superfície, ventos regionais e estabilidade do tempo. Em condições estáveis ela em média não é maior que algumas centenas de metros de distância. E possui uma forma elíptica com maior eixo voltado para direção do vento. Contudo adotamos para este trabalho um raio de 100m circular do ponto de coleta de temperatura do ar, pois o vento altera sua direção predominante dado os diferentes sistemas atuantes, sendo o círculo mais adequado, pois não temos informações de direção do vento em cada ponto.

O levantamento das variáveis e aplicação do modelo foi realizada dentro desse raio de influência do sensor de temperatura do ar de 100 m e não para toda a área urbana da cidade.

A maioria das variáveis que deram origem aos mapas básicos foram levantadas a partir de fotointerpretação e vetorização manual das informações tendo como base uma imagem de alta qualidade da área do *Google Earth Pro*. As imagens de satélite são do período de 06 de maio de 2017. A utilização de imagens do Google Earth para estudos climáticos de cidades pequenas, que não dispõe de tais recursos já é algo feito em outros trabalhos (FIALHO, 2015; TEIXEIRA,2015; CRUZ, 2009; MASHIKI, 2012; KEGLER, 2016; ORTIZ, 2011).

Para georreferenciar a imagem dentro do *software* do *Google Earth Pro* foram marcados 6 pontos para cada imagem, esses pontos depois foram exportados em arquivo do tipo *kml* que possuem coordenada referenciadas. Com base nesses pontos de coordenadas conhecidas a imagem foi georreferenciada dentro do *ArcMap 10.2*. Essa metodologia gera um erro residual nas coordenadas o que cria uma pequena distorção e deslocamento dos pontos. Para algumas aplicações isso pode inviabilizar o trabalho, contudo para a execução deste trabalho esse erro de deslocamento, que segundo o software variou em 4 e 8 metros não é problemático, a maior parte das variáveis são referenciadas com base nessa imagem portanto não tem erros significativos. Outros dados de diferentes fontes, como imagem termal, tem pixels muito grandes que mantem o ponto mais seu desvio na maioria dos casos dentro do mesmo pixel.

A área das edificações foi identificada e vetorizada a partir dessa imagem pelo tamanho de suas coberturas. As vias e vegetação também foram extraídas da imagem de satélite.

Acompanhado do processo de fotointerpretação da imagem vertical, utilizamos a ferramenta *Google Street View* para ter uma visão da área ao nível do solo. A partir da visão ao nível do solo pode-se extrair outras informações como número de pavimentos de cada edificação, além de verificar o tipo de cobertura, tipo de pavimento das vias e características da vegetação.

As imagens do Google Street View são de 2011, ou seja de 6 anos, antes das imagens de satélite. Quando ao analisar a imagem de satélite identificou-se divergência em relação ao mostrado no nível do solo, sejam diferenças de cobertura, área construída ou sombreamento das edificações (indicativo de maior número de pavimentos) em um lote, essas edificações eram marcadas e posteriormente foram verificadas em campo. Alguns lotes por terem muros altos ou a edificação estar abaixo do nível da rua ou ser nos fundos de outra edificação de modo que não foram possíveis de serem identificadas com precisão, receberam atributos apenas de acordo com imagem de satélite e número de pavimentos similares aos seus vizinhos.

2.3.2 Massa Construída

Diferentemente do trabalho de Pimentel (2017) que utilizou os lotes fornecidos pela prefeitura de Juiz de Fora como unidade básica, a identificação da edificação se deu pela fotointerpretação e vetorização das edificações da imagem de satélite. Desse modo evitou-se superestimar a variável de massa construída, pois em muitos casos a edificação não ocupa todo o lote e essa métrica tem alta relação com área e perímetro das edificações.

Para o cálculo da massa o Tso et al. (1990) assume o pressuposto que toda a massa construída é composta apenas de concreto de modo a simplificar os cálculos. Contudo essa suposição é muito forte dado o padrão de construção no Brasil e principalmente se tratando de casas populares.

Com base nesse trabalho buscamos adaptar modelo apresentado para a realidade construtiva brasileira. Em geral as residências mesclam o uso de blocos cerâmicos, normalmente tijolo de 6 furos pelo seu custo-benefício atraente e reboco de areia e concreto. Para o tijolo com base na NBR 6120 temos uma densidade

aproximada de 1400 kg/m^3 enquanto o reboco normalmente constituído de areia e cimento temos uma densidade maior de 2100 kg/m^3 .

Sendo as dimensões comuns dos blocos de tijolos de $9 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 19 \text{ cm}$ atendendo a NBR 7200-82 temos um reboco máximo de $2,5 \text{ cm}$ de cada lado chegamos ao valor 14 cm de espessura para as paredes, popularmente chamadas de parede de $\frac{1}{2}$ vez. Em construções de maior qualidade o tijolo é posto deitado nas paredes externas e entre vizinhos para melhorar o isolamento acústico e térmico, nesse caso teríamos paredes de uma vez, que teriam espessura de 19 cm aproximadamente.

Contudo, devido necessidade de generalização vamos adotar a parede de $\frac{1}{2}$ vez como o padrão geral nela 64% é composto por cerâmica e 36% de reboco de areia e cimento. Fazendo uma generalização e utilizando-se de uma média ponderada temos que a densidade de alvenaria (γ_a) aproximada de uma parede é:

$$\gamma_a = \frac{0,64285 (1400) + 0,35714 (2100)}{0,64285 + 0,35714} = 1650 \text{ Kg/m}^3$$

(Equação 5)

$$M_c = (P \cdot h \cdot EC1 \cdot \gamma_a) + (A \cdot NL \cdot Ec2 \cdot \gamma_c)$$

(Equação 6)

Onde:

M_c = Massa construída

γ_a = densidade da alvenaria = 1650 kg/m^3

γ_c = densidade do concreto = 2400 kg/m^3

P = perímetro da edificação (m)

h = altura da edificação (m)

$EC1$ = Espessura média do concreto nas construções, adotado valor de $0,14 \text{ m}$ para as paredes externas

A = área da edificação (m^2)

NL = número de lajes +1

$EC2$ = Espessura média das lajes de concreto nas construções, adotado $0,10 \text{ m}$ como valor de referência

Acreditamos que essa versão adaptada do trabalho de Tso (1990) está mais representativa da realidade encontrada nas cidades brasileiras. O aumento da massa construída em uma região está diretamente ligada a inércia térmica, a maior absorção

de calor pelos edifícios durante o dia e o lento resfriamento das superfícies no período noturno em comparação com as zonas rurais ao pôr do sol.

Para o cálculo da massa construída foi utilizado a ferramenta *Calculate Geometry* no ArcMap 10.2.2 na qual foi calculada área (m²) e perímetro (m) com base nos polígonos vetorizados. Em seguida foi criado um novo campo na tabela de atributo e utilizada a ferramenta *Field Calculator* para calcular a massa construída utilizando a Equação 6. Adotou-se como padrão para altura da edificação o valor de 3 metros para cada pavimento.

O resultado da variável massa construída foi classificado em 5 classes por quartis. Em seguida os vetores foram transformados em um arquivo *raster* com resolução de pixel de 1 metro, o que gera melhor qualidade no produto final. Em seguida foram reclassificados com a ferramenta *Reclassify* em relação ao seu potencial de aquecimento com valores variando de 1 a 5¹⁵ de acordo com Quadro 4. Sendo peso 5 tendo sido atribuído a um elemento com forte potencial de influenciar o aquecimento do ar acima dele e 1 dado a elementos que possuem baixo potencial. Valores negativos foram atribuídos a elementos que tem como características resfriar o ar próximo a eles, como vegetação e corpos d'água.

Quadro 4 – Valores de Massa construída e grau de influência no aquecimento do ar

Massa Construída (Kg)	Peso
0 - 80837	1
80837 - 122671	2
122671 - 192764	3
192764 - 350206	4
350206 - 2586171	5

Fonte: Elaboração própria

2.3.3 Albedo e emissividade

As coberturas das edificações, os pavimentos e a vegetação foram classificadas quanto ao albedo e emissividade dos materiais dessas superfícies.

As coberturas das edificações foram classificadas quanto ao material usado em: laje de concreto, telhas de fibrocimento, telhas metálicas (aço galvanizado) e telhas do tipo colonial, essas foram separadas em dois tipos: limpas e sujas.

¹⁵ Áreas sem edificações, *Nodata*, receberam o valor 0, importante para funcionamento da metodologia.

Os pavimentos também foram levantados e classificados em: asfalto, bloquetes de cimento, pedra tosca (ou alvenaria poliédrica) e solo exposto. A variável pavimentos engloba principalmente o arruamento e áreas de dimensão significativa como estacionamentos, quadras e lotes vagos.

Os valores de albedo de referência estão na Quadro 5. Esses valores foram retirados do trabalho de Ferreira e Prado (2003). Adotou-se os valores de referência dos materiais como estando como envelhecidos para as classes: fibrocimento, telhas de aço galvanizado e telhas coloniais sujas. A diferença de valores de albedo entre materiais novos e velhos são bastante significativos, com envelhecimento e acúmulo de sujeira as coberturas tem seu valor de albedo reduzidos. As coberturas cerâmicas limpas, independentemente da cor, receberam os valores de albedo referentes a telhas cerâmicas brancas novas e limpas de 0,68.

Quadro 5 – Valores de Albedo e emissividade de diversas superfícies urbanas e naturais

Material	Albedo	Peso	Emissividade	Peso
Coberturas				
Laje (cimento)	0,35	3	0,9	2
Fibrocimento	0,34	3	0,9	2
Telha metálica	0,57	2	0,25	5
Telha colonial nova e limpa	0,68	1	0,9	2
Telha colonial velha e suja	0,53	2	0,9	2
Pavimentos				
Asfalto	0,12	5	0,95	1
Concreto	0,35	3	0,9	2
Pedra lascada	0,33	3	0,95	1
Solos claros e secos	0,35	3	0,9	2
Vegetação e Água				
Gramma	0,26	4	0,95	1
Vegetação arbustiva	0,16	5	0,9	2
Vegetação Arbórea	0,2	5	0,98	1
Água	0,1	5	0,95	1

Fonte: Oke (1987); Ferreira e Prado (2003)

Segundo o levantamento feito pelos autores a diferença do albedo entre telhas cerâmicas em relação a cor é de um ponto percentual entre a branca e a vermelha. Esse valor não é tão significativo como a diferença entre o albedo do material novo e do envelhecido. Os telhados de cerâmica sujos, a maioria nas cidades, receberam o valor de albedo de 0,53 independente de originalmente serem brancas ou vermelhas.

A classe das lajes de concreto receberam valor de 0,33 valor condizente com o valor do albedo do concreto apresentado por Oke (1987).

Os valores de albedo para pavimentos, vegetação e água foram retirados de Oke (1987). Não foi encontrado na literatura valor específico para o pavimento de pedra tosca. O autor apresenta que para paredes de rocha o albedo varia entre 0,2 - 0,35, valores próximo aos valores do concreto. Em trabalho de campo foi mensurado o valor da temperatura de superfície¹⁶ dos diferentes tipos de pavimento expostos ao sol em um dia de pouca nebulosidade e de ventos calmos. Os resultados estão na Tabela 1, o asfalto é o material que atinge as maiores temperaturas de superfície em todos horários, seguido do concreto e o que menos aquece é o pavimento de pedra tosca, que também é o pavimento mais permeável dos três.

Tabela 1 – Temperaturas de superfície de diferentes pavimentos

	Asfalto	Pedra tosca	Bloquete de concreto
9h	36,6°C	33,9°C	35,7°C
15h	48,2°C	41,2°C	43,1°C
21h	28,3°C	25,7°C	26,6°C

Fonte: Coleta de dados própria

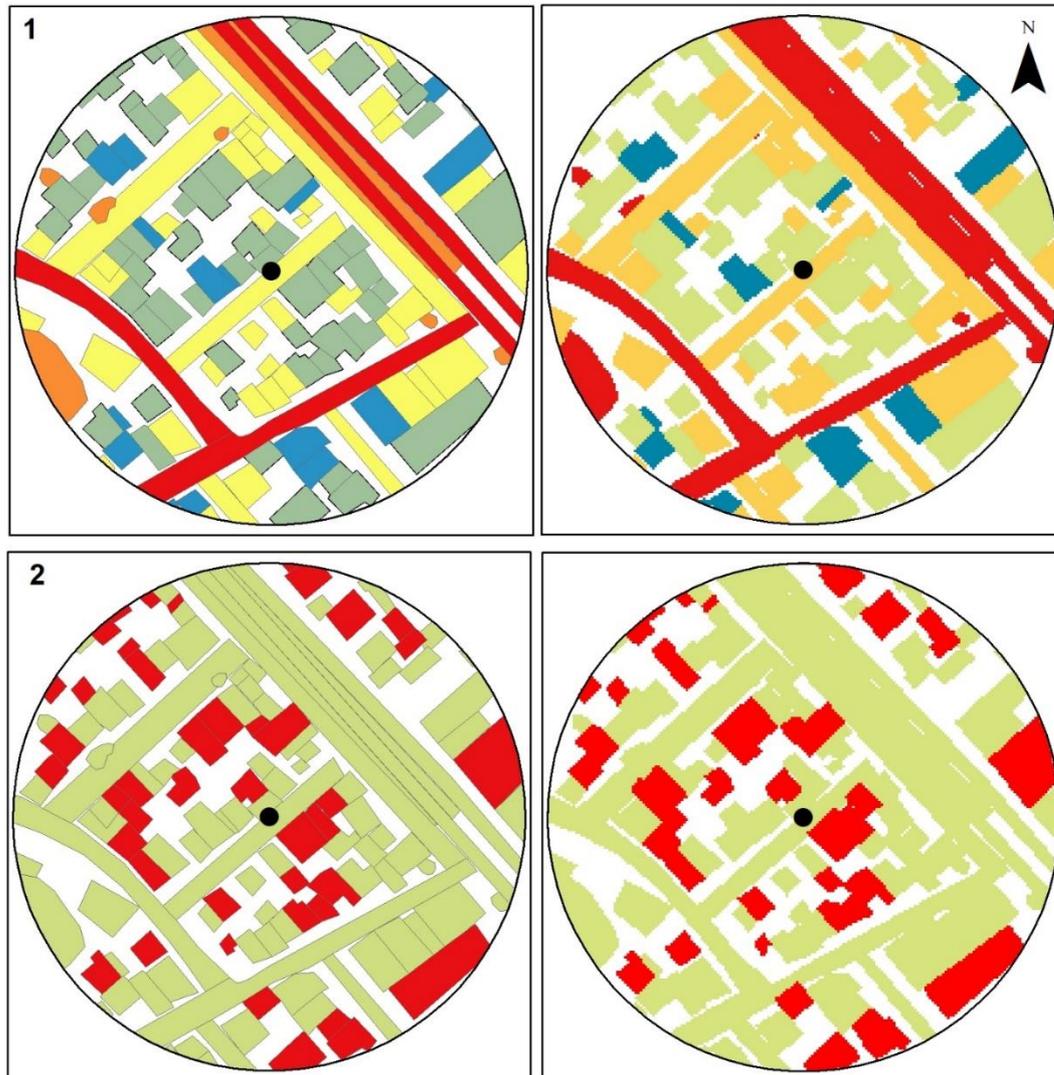
Com base nesses valores definiu-se que o albedo de 0,35 para a pedra tosca sendo esse valor idêntico ao valor do concreto e dentro dos intervalos propostos por Oke (1987).

A emissividade dos materiais em geral é próxima a 0,9, exceção dos metais que tem baixos valores o que contribui para o aumento do saldo de radiação urbana e conseqüentemente tornam a cidade mais quente.

A confecção do mapa base se deu pela transformação dos lotes vetorizados com os valores de albedo e emissividade em arquivos *raster* e que em seguida foram reclassificados com a ferramenta *Reclassify* em relação ao seu potencial de aquecimento com valores variando de 1 a 5 de acordo com a sua potencial contribuição para o aquecimento do ar, seguindo o que foi apresentado no Quadro 5. Um exemplo pode ser visto na Figura 13 para o ponto 1.

¹⁶ As temperaturas de superfície foram captadas com uma câmera térmica da marca Flir modelo TG167 com precisão $\pm 1,5^\circ\text{C}$.

Figura 13 – Exemplo da metodologia de reclassificação dos mapas temáticos



Legenda

● Ponto de coleta

□ Buffer 100m

1 - Albedo

0,10 - 0,20

0,21 - 0,30

0,31 - 0,50

0,51 - 0,60

0,61 - 0,68

5 - Altíssimo potencial de aquecimento

4 - Alto potencial de aquecimento

3 - Médio potencial de aquecimento

2 - Baixo potencial de aquecimento

1 - Baixíssimo potencial de aquecimento

2 - Emissividade

0,25

0,26 - 0,98

5 - Altíssimo potencial de aquecimento

2 - Baixo potencial de aquecimento

0 20 40 80 120 m

1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator

Datum Horizontal: SIRGAS 2000

Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

2.3.4 Áreas Verdes

As áreas verdes foram identificadas também pela imagem de satélite, segundo sua textura foram separadas em vegetação arbórea, arbustiva, viária e

rasteira. Qualquer mancha de vegetação plenamente identificável na imagem foi vetorizada, desde conjunto de arbustos a uma única árvore com copa de tamanho suficiente para ser individualizada.

Além disso, cursos de água como rios, córregos ou ribeirões foram identificados por seu espelho de água ou com base matas ciliares. Cursos d'água canalizados não foram considerados, por esse motivo não se optou pela hidrografia das cartas do IBGE, essa serviu apenas de referência para localizar pequenos córregos que na imagem de satélite apareciam cobertos por vegetação de matas ciliares. Piscinas e lagos artificiais quando de dimensões consideráveis também foram mapeados, pois favorecem o resfriamento do ar e aumento da umidade pela evaporação nesses pontos.

A vegetação por sua fisiologia contribui para o resfriamento do ar funcionando como elemento mitigador das temperaturas do ar. Além disso a vegetação arbórea contribui com sombreamento durante o dia, o que gera um menor armazenamento de calor nos materiais, logo uma menor liberação de calor durante a noite. A vegetação viária, por ter em geral abaixo da copa concreto ou asfalto que são elementos com grande capacidade térmica, receberam o valor de 2, pois estes contribuem positivamente para o aquecimento do ar, menor que quando exposto diretamente a radiação conforme Mascaró e Mascaró (2002).

Um mapa base foi criado a partir dos dados de vegetação vetorizados. Em seguida foi reclassificado segundo seu potencial de contribuição para aquecimento do ar ou resfriamento do ar, Quadro 6.

Quadro 6 – Áreas verdes e peso no aquecimento do ar

Áreas Verdes	Peso
Gramma	-2
Vegetação arbustiva	-2
Vegetação Arbórea	-3
Água	-2
Vegetação Viária	2

Fonte: Elaboração própria

2.3.5 Áreas Impermeáveis e permeáveis

Como alguns elementos não são perfeitamente identificáveis e classificáveis na imagem, foi feita uma generalização de área construída ou impermeabilizada dentro do raio de 100m de cada ponto. Todos elementos que não são vegetação, água

ou solo expostos foram generalizados para ambiente construído. As ruas de pedra tosca receberam uma classe especial de semi-impermeável, por permitirem alguma infiltração. Os shapes resultantes foram convertidos para raster e depois reclassificados segundo a possibilidade de contribuir para o aquecimento do ar segundo valores do Quadro 7.

Quadro 7 – Impermeabilização e grau de influência no aquecimento do ar

Impermeabilização	Peso
Área construída / impermeável	5
Ruas de pedra / semi-impermeável	4
Área permeável	0

Fonte: Elaboração própria

2.3.6 Altitude e topografia

A altitude é sabidamente uma variável que tem forte influência na temperatura do ar dado gradiente adiabático do ar. As formas do relevo de acordo com sua orientação pode ficar mais ou menos expostas a radiação, facilitar a circulação dos ventos ou formar barreiras contra ele. A diferença entre o ponto de coleta dos dados mais alto no topo do morro e o ponto mais baixo no fundo do vale são de 58 metros. Os pontos mais altos, principalmente no topo de morro formam um topoclima diferenciado em relação ao fundo do vale, o vento que com menos barreiras circula com maior intensidade resfriando as superfícies por convecção.

Quadro 8 – Relevo, altitude e grau de influência no aquecimento do ar

Relevo	Peso
332 - 360 m	2
361 - 390	1

Fonte: Elaboração própria

2.3.7 Fator de visão do céu

Para esse cálculo optou-se pela metodologia apresentada por Collischonn & Ferreira (2016). A metodologia apresentada pelos autores calcula o FVC através de um software a partir de uma fotografia tirada com uso de uma lente de olho de peixe.

Primeiro passo foi nivelar a prancheta sobre qual foi apoiada a câmera, foi utilizado um aplicativo para celular que simula um nível, utilizado na construção civil, para garantir o nivelamento. A câmera foi posicionada no chão, de modo a captar a recepção da radiação da superfície que aquece o ar abaixo do sensor de temperatura

do ar. A câmera utilizada foi do Smartphone Galaxy S7 de 12 megapixels com uma lente olho de peixe da marca LIEQI modelo LQ-001 com ângulo máximo 180° de visão. A câmera foi orientada de forma que o norte ficasse na parte de cima da foto, para essa finalidade foi utilizado um aplicativo de bússola no celular.

Seguindo o procedimento descrito pelos autores com uso do software *Photoshop* delimitou-se manualmente as construções e o céu, sendo preto qualquer objeto que causa a obstrução da visão do céu e branco para céu, incluindo o sol e as nuvens. Dado o dia estar nublado algumas nuvens foram identificadas como obstáculos e com o photoshop esse problema foi contornado. Outros obstáculos como uma cerca de arame que não apresentavam influência enquanto obstáculos à radiação foram apagados digitalmente.

Depois foi utilizado o software *Sky View Factor Calculator* disponibilizado pelo *Göteborg Urban Climate Group* da Universidade de Göteborg na Suécia. Utilizou-se nesse trabalho os valores do método Annulus de Johnson e Watson (1984) por apresentar valores mais condizentes com os representados pela imagem. O procedimento utiliza 45 anéis com um intervalo de 5 graus de azimute entre eles resultando em 3240 pixels na imagem hemisférica que são usados para o cálculo do fator de visão do céu. Aferiu-se que pode haver uma grande variação no valor do SVF calculado pelo software com pequenas variações na etapa do procedimento interno do programa de definir o centro e a borda da imagem. Menores valores de SVF indicam maior obstrução do céu e maior aquecimento do ar, principalmente noturno, enquanto durante o dia pode indicar maior tempo sombreado.

Depois de classificados os dados de fator de visão do céu foram reclassificados quanto ao grau de influência sobre o comportamento térmico com valores indicados no Quadro 9.

Quadro 9 – Fator de visão do céu e grau de influência no aquecimento do ar

Fator de visão do céu	Peso
0,43 – 0,59	3
0,6 - 0,76	2
0,77 - 0,99	1

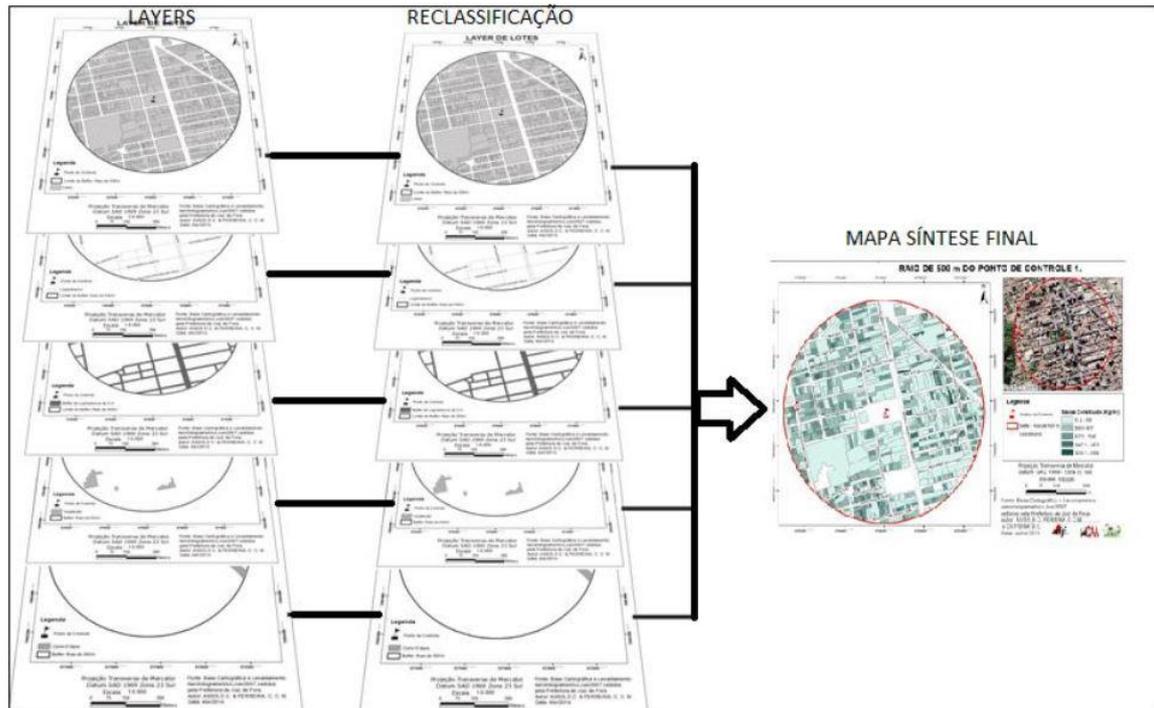
Fonte: Elaboração própria

2.3.8 Integrando o modelo

Os mapas básicos deram origem a mapas temáticos que foram reclassificados qualitativamente, as variáveis foram classificadas de 1 a 5 segundo

sua contribuição para o aquecimento do ar. Sendo 5 atribuído a um elemento com forte potencial de influenciar o aquecimento do ar acima dele e 1 dado a elementos que possuem baixo potencial. Em seguida foram integrados utilizando a ferramenta *Raster calculator* no ArcMap 10.2 todos arquivos anteriores criados foram somados de modo a dar o efeito de sobreposição desejado¹⁷. Conforme Figura 14.

Figura 14 – Operação dos mapas no SIG



Fonte: Ferreira (2014)

A modelagem funciona da seguinte forma, por exemplo, o asfalto e a vegetação arbórea tem o albedo e emissividade próximas contudo respostas térmicas bem diferentes de temperatura de superfície e aquecimento do ar em contato. A modelagem permite que o pesquisador atribua notas a cada variável segundo seu potencial de aquecimento ou resfriamento, desta forma se for dado ao asfalto uma nota de 5 de albedo, 2 de emissividade e mais 5 de impermeabilização, este alcançará um potencial de aquecimento de 12. Enquanto que para a vegetação arbórea for dada a nota 5 de albedo, 2 de emissividade, 0 por ser permeável e -3 por sua fisiologia de respiração e fotossíntese que resfria o ar, seu potencial de aquecimento será de 4. Através do conjunto de variáveis que ao serem somadas conseguirá modelar o potencial do lugar em aquecimento ou arrefecimento do ar.

¹⁷ Depois de gerado o mapa síntese, ele foi reconvertido para polígono apenas por questões estéticas de representação.

O mapa resultante possui um caráter qualitativo que reflete a análise de como cada variável contribui para o comportamento da temperatura do ar. Maiores valores agregados apresentados no mapa síntese representam a maior capacidade do ambiente construído naquele ponto de se aquecer.

2.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados de temperatura do ar e de superfície foram desenvolvidas levando em consideração a situação sinótica ocorrida durante a sua captura. A influência dos sistemas atmosféricos atuantes é o principal fator controlador da intensidade das ilhas de calor. Segundo revisão bibliográfica (Mendonça, 2003; Fialho, 2009; Teixeira, 2015; Collischonn e Ferreira, 2017) a maioria dos trabalhos teve maior intensidade encontrada em dias em que existia atuação da Massa Tropical Atlântica. Desta forma, utilizou-se das cartas sinóticas de superfície disponibilizadas pela Marinha do Brasil.

Para análise dos dados de temperatura do ar foram necessários os seguintes procedimentos. Os dados foram capturados durante a vigência do horário de verão, com -2h em relação a UTC. Mesmo com o fim do horário de verão no dia 16 de fevereiro os dados posteriores não foram ajustados a hora legal após esse período. O equipamento por configurações próprias iniciou as medições as 0h01. Dado a variação da duração dos dias no período de coleta, que foi de 41 dias, foi usado um horário de nascer do sol médio de 6:21 e de pôr do sol médio de 19h30min.

Foi definido que o período noturno para as análises se iniciaria com o pôr do sol e se estenderia até o nascer do sol do outro dia. Como exemplo, a noite do dia 17 de janeiro se iniciou as 19h40min (primeira leitura do equipamento após o pôr do sol) e terminou dia 18 de janeiro as 6h10min (última leitura sem iluminação), por tanto não respeitando a data legal.

Complementando a análise dos sistemas sinóticos utilizou-se de dados de precipitação captados pelo pluviógrafos automáticos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. Contudo esse Sistema sofre com falta de manutenção e baixa confiabilidade. Verificou-se que esses dois postos são confiáveis em relação aos dias chuvosos e ao volume aproximado dado a

alta correlação dos seus dados com a estação oficial automática do INMET em Coronel Pacheco que está a 60 km de distância.

Para representação dos dados foi gerado um mapa do distrito sede com objetivo de espacializar as temperaturas do ar noturno em um dia típico de atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa). O método usado foi o IDW (*Inverse distance Weighing*), com objetivo de estimar o valor da temperatura para os espaços não observados entre as estações de coleta. O IDW através de uma combinação linear prevê que os valores observados serão mais influentes no valor dos pontos não observados quanto menor a distância entre eles, ou seja, com o aumento das distância os pontos são menos parecidos. Esse método presume que a influência da variável decresce com a distância, por isso é adequado ao mapeamento de ilhas de calor, pois se deduz o mesmo para o fenômeno, que do centro da cidade para a zona rural o fenômeno diminui de intensidade. Esse é um dos interpoladores mais comuns para interpolar temperatura e precipitação segundo Kim et al. (2010). A fórmula geral, Equação 7 e 8, usada pelo Arcgis 10.2 da ESRI (2018) é:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda Z(s_i)$$

(Equação 7)

onde:

$\hat{Z}(s_0)$ é o valor que estamos tendo predizer para a localização s_0

N é o número de amostra de pontos ao redor da localização que será prevista

λ é o peso que pondera a mensuração do ponto, o peso decresce com a distância

$Z(s_i)$ é o valor observado no ponto s_i

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

(Equação 8)

onde:

Quanto maior a distância o peso é reduzido pelo fator p

d_{i0} é a distância entre a localização predita s_0 e cada ponto mensurado s_i

Uma ressalva deve ser feita dado o formato do sítio urbano de Ubá ser em um fundo de vale com a expansão da mancha urbana ocorrendo principalmente nas vertentes e topos de morro, a maioria dos pontos de coleta se deram ao longo do fundo de vale, com isso essa representação da temperatura do ar só tem maior validade nos locais próximos aos pontos de coleta, a generalização promovida pela interpolação (IDW) usada para a temperatura tem pouquíssima validade para o restante do distrito sede.

Com objetivo de comparar as amostras dos dados de temperatura do ar encontrados nos diferentes pontos urbanos e no ponto rural foi utilizada para análise estatística o modelo ANOVA com análise de um fator (Equação 9). Esse teste segundo Fernandes (1999) pretende revelar se existem diferenças significativas em média entre os conjuntos de dados que receberam diferentes tratamentos.

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + e_{ij} \quad (\text{Equação 9})$$

μ é a média geral dos dados

$\beta = \mu_j - \mu$, ou seja, desvio do tratamento j , diferença entre a média do tratamento e média

e_{ij} são os erros causais

A hipótese nula é que $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ e que $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k$

Isso significa que os dados foram testados em relação a hipótese que não há diferenças entre os conjuntos de dados em relação à média com nível de confiança de 95%.

Nessa aplicação almeja-se saber se as temperaturas do ar captadas nos diferentes pontos são estatisticamente diferentes entre si, fruto dos diferentes elementos urbanos que influenciam a temperatura do ar ou se não há diferença nas temperaturas, sendo todas elas controladas pela circulação atmosférica geral e elementos regionais da paisagem.

O teste de Tukey serve como um teste complementar a ANOVA para em caso de rejeição da hipótese nula identificar quais pontos são diferentes entre si, pois o ANOVA apenas informa que houve diferença significativa entre os pontos, mas não em qual ou quais pontos. O teste analisa os pontos de par em par e comparando suas médias.

Os testes estatísticos do ANOVA foram feitos na análise de dados do *Excel 2013*. No software *Past 3* realizou-se o teste de Tukey, além dos gráficos *boxplot*.

A validação dos dados da modelagem foi feito usando gráfico de dispersão e correlação no software Excel 2013.

A temperatura do ar urbano é registrada de forma pontual enquanto o modelo de potencial de campos térmicos tem uma área de 100m. Para correlacionar essas duas grandezas foi necessário usar uma métrica para transformar o modelo em apenas um valor.

Utilizar-se apenas do valor do pixel sob qual o sensor está posicionado seria um erro, já que além da superfície horizontal existem as superfícies verticais e outras superfícies horizontais próximas que contribuem para aquecimento do ar e que por transporte turbulento interferem na temperatura do ar que é lido pelo sensor.

O resultado do modelo é um arquivo *raster* formado por pixels de 1m x 1m. O valor de cada pixel, que representa o potencial de aquecimento naquele m². Como métrica síntese do modelo foi multiplicado o valor de cada pixel pelo número de ocorrência desse pixel dentro do raio de 100m de cada ponto. Em seguida somou-se todos os valores, conforme Equação 10.

$$PAT = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i$$

(Equação 10)

Onde:

PAT é o potencial de aquecimento total do ar em uma área

x_i é o número de pixels com peso w

w_i é o valor do potencial de aquecimento daquele pixel

Outra possibilidade de sintetizar o potencial de aquecimento de uma área em um único valor foi multiplicar o valor de potencial de aquecimento pelo número de ocorrência desse pixel e em seguida calcular a média de modo a representar o valor médio do potencial de aquecimento dentro do raio de 100m de cada ponto, Equação 11.

$$PAT_{M\u00e9dio} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i}{n}$$

(Equação 11)

Onde:

PAT média do potencial de aquecimento total do ar em uma área

x_i é o número de pixels com peso w

w_i é o valor do potencial de aquecimento daquele pixel

n = número de elementos

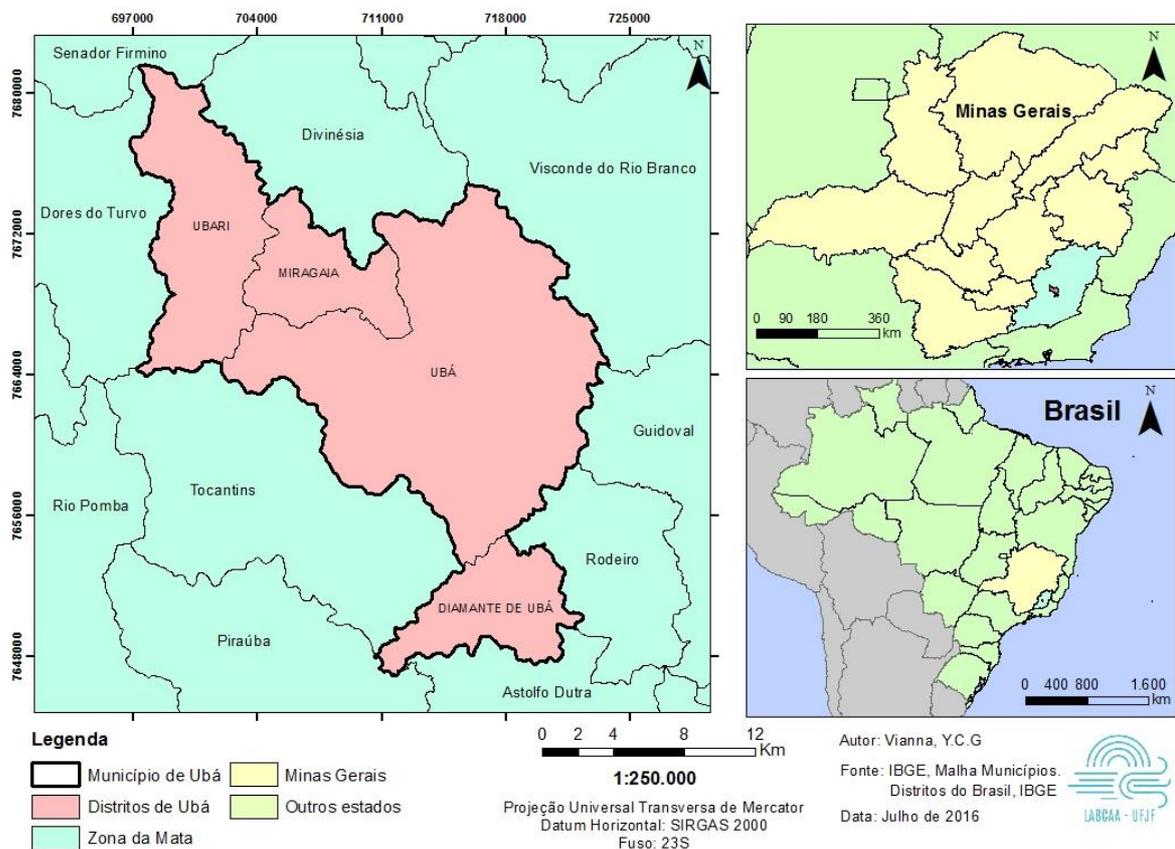
Nesse processo foram descartados alguns pixels negativos, que não ocorreram em número significativo e foram considerados ruídos da transformação de vetores em *raster*.

Outra forma de expressar o resultado do modelo com apenas um valor é contabilizar o número de pixels nas classes alto e altíssimo potencial de aquecimento (valores de 16 a 22 nesse trabalho) dentro do raio de cada ponto.

3. ÁREA DE ESTUDO

O município de Ubá está localizado no estado de Minas Gerais, na mesorregião da Zona da Mata (Mapa 1) sendo formado por quatro distritos: Ubá (distrito sede), Ubari, Miragaia e Diamante de Ubá. Sua área total é de 407.452 km², possui população de 101.519 habitantes, segundo Censo de 2010 (IBGE, 2017), sua população urbana é de 97.636 habitantes desses 92.095 habitantes vivem no distrito sede, ou seja, 96% de sua população é urbana e 90% dela vive no distrito sede.

Mapa 1 – Localização do município de Ubá



Fonte: Elaboração própria

Seu sítio está sob domínio dos Mares de Morros como denominado por Ab'Sáber (2005). Essa unidade morfoclimática e climato-botânica tem como característica a mamelonização universal das vertentes. Assim, o relevo apresenta a forma de “meia laranjas”, estas cobertas originalmente por mata atlântica desde o fundo dos vales, com altitudes de 2 a 3m até os interflúvios em nível altimétrico de 1100m a 1200m. Apresentam drenagem dentrítica perene, mesmo na estação seca,

o substrato é de rochas cristalinas e cristalofianas profundamente decompostas, sob clima tropical úmido recobertas por solos do tipo latossolo (AB'SABER, 2005).

Essa configuração natural, contudo, encontra-se amplamente alterada, da cobertura florestal da mata atlântica que primariamente recobria toda a região antes da chegada do café no século XIX. Atualmente restaram poucos resquícios preservados no município, sobressaindo as manchas de floresta secundária estacional semidecidual em regeneração. A perda da vegetação original favoreceu processos de erosão laminar em vertentes convexas e voçorocamento em vertentes côncavas como são comuns nesse tipo de relevo como dito por (AB'SABER, 2005).

O sítio de Ubá está assentado dentro da bacia do Rio Pomba que é um dos principais afluentes do Rio Paraíba do Sul. Tomando como base o trabalho de Faria (2009) sobre a compartimentação da bacia do Rio Pomba. O sítio de Ubá em sua maior parte pertence a Depressão do Rio Xopotó, que se caracteriza pela atuação da dissecação fluvial desse rio sobre rochas pré-cambrianas. Essa dissecação deu origem a um relevo de “meia laranja” com altitudes que variam em Ubá de 280 a 620m, como vemos no Mapa 2.

Na porção noroeste de Ubá onde se localiza o distrito de Ubari apresenta formas de relevos com maiores altitudes com valores de 621 a 950m, estas formas pertencem a unidade geomorfológica dos Planaltos Dissecados do Centro-sul e Leste de Minas.

Segundo Faria (2009) essa unidade geomorfológica se caracteriza pela atuação da dissecação fluvial sobre rochas pré-cambrianas dando origem a colinas e cristas com altitudes variando de 1000 m a 1200 m e a vales encaixados com altitude variando de 750 m a 800 m, conformando típicas formas de relevo de origem de superfície de degradação. Como ressalta Faria (2009) tanto a Depressão do Rio Xopotó quanto os Planaltos Dissecados do Centro-sul e Leste de Minas são originárias da evolução das formas de relevo pertencentes a Serra da Mantiqueira. Andrade (1961) vai denominar a região de “Golfão de Ubá” sendo está uma reentrância do Complexo da Mantiqueira, sendo o Golfão uma feição côncava cercado pela Serra de São Geraldo a norte, que possui altitudes superiores a 700 metros, criando aproximadamente 400 m de desnível para a área rebaixada do golfão.

O Mapa 3 representa a declividade, segundo Cardoso (2018) a declividade e a cobertura vegetal são fatores importante para planejamento do uso da terra visto que influenciam no escoamento da precipitação e infiltração de água no solo. Áreas

de topo de morro e as encostas ou partes destas com declividade superior à 45° são segundo a lei número 12.651 de 2012, “o Novo Código Florestal”, áreas de proteção permanente da vegetação nativa. No vale do ribeirão Ubá onde está o perímetro urbano do município predominam declives abaixo de 6° cercados por formas de relevo de 6° à 12° e 15° à 30°. As maiores declividades encontradas na área de estudo as foram na serra do Ubari onde temos a maior frequência das classes 30-45° e >45° que são áreas mais sujeitas a movimentos de massa quando não recobertas por vegetação.

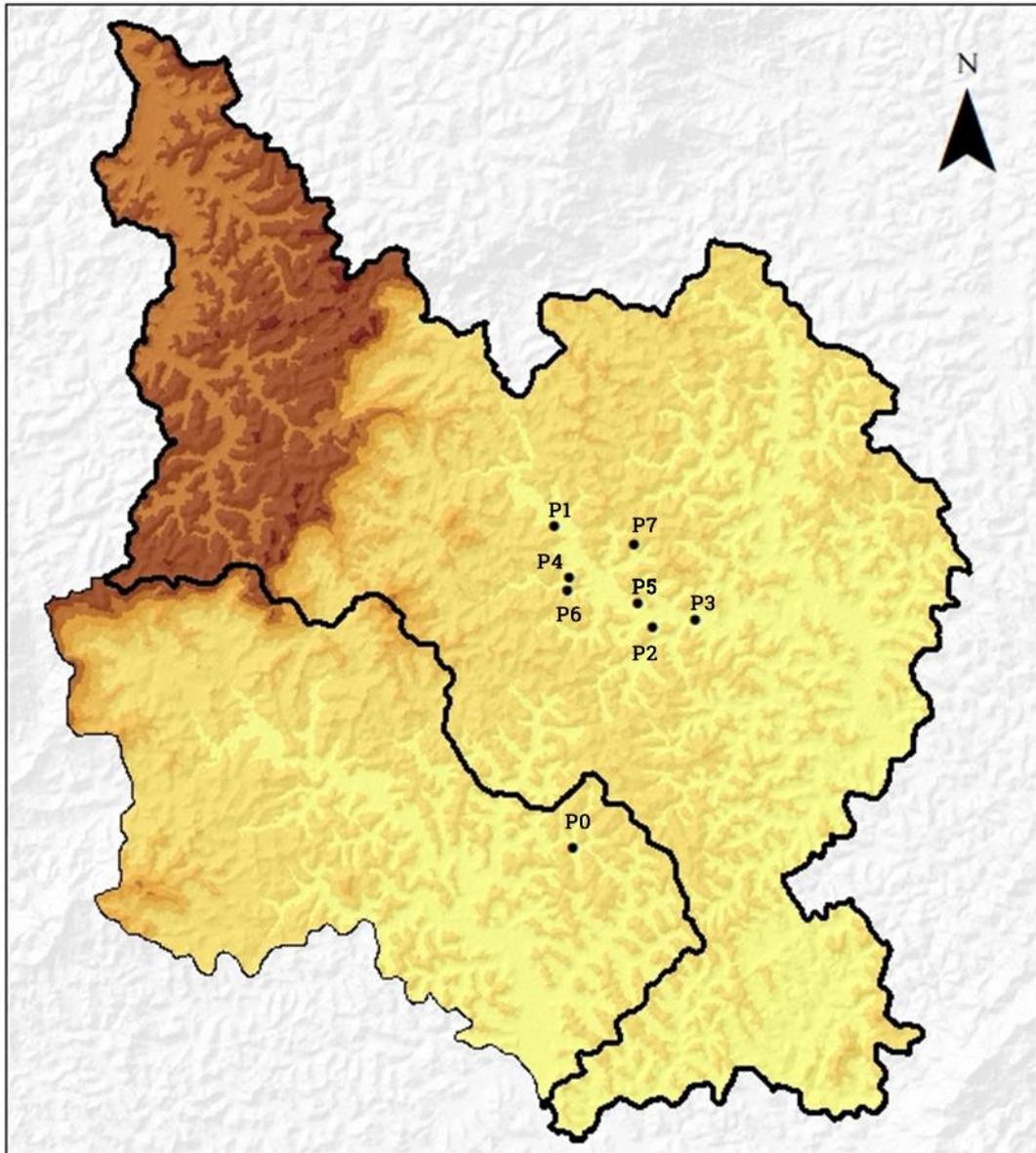
O Mapa 4 mostra a orientação das vertentes do município de Ubá e Tocantins. Esta condiciona a quantidade de insolação recebida pelas encostas longo das estações. A orientação predominante tendo em vista o distrito sede é a Nordeste com 14,25% do relevo orientado para essa direção, em segundo está a orientação leste com 13,81%.

Em relação ao relevo da região e do sudeste como um todo Sant’anna Neto (2005, p.47) afirma que “nenhuma outra região brasileira apresenta uma influência tão nítida e marcante da altimetria e disposição do relevo nas configurações dos climas regionais”.

Do ponto de vista climático a região de Ubá apresenta normalmente duas estações bem definidas, a primavera/verão quente e chuvosa e o outono/inverno seca e com temperaturas amenas.

Na primavera/verão período que apresenta precipitações intensas e concentradas, correspondendo a aproximadamente 80% da precipitação/ano. Estas chuvas são derivadas da atuação de sistemas atmosféricos que proporcionam maior instabilidade atmosférica e proporcionam maiores volumes de precipitação, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que quando atua provoca frequentemente movimentos de massa e enchentes (SANTOS, 2013).

Mapa 2 – Ubá: Hipsometria



Legenda

● Pontos de coleta de dados

□ Município de Tocantins

□ Município de Ubá

Altimetria (m)

280 - 375	663 - 757
376 - 471	758 - 853
472 - 566	854 - 948
567 - 662	

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

1:225.000

0 2 4 8 Km

Autor: Vianna, Y.C.G

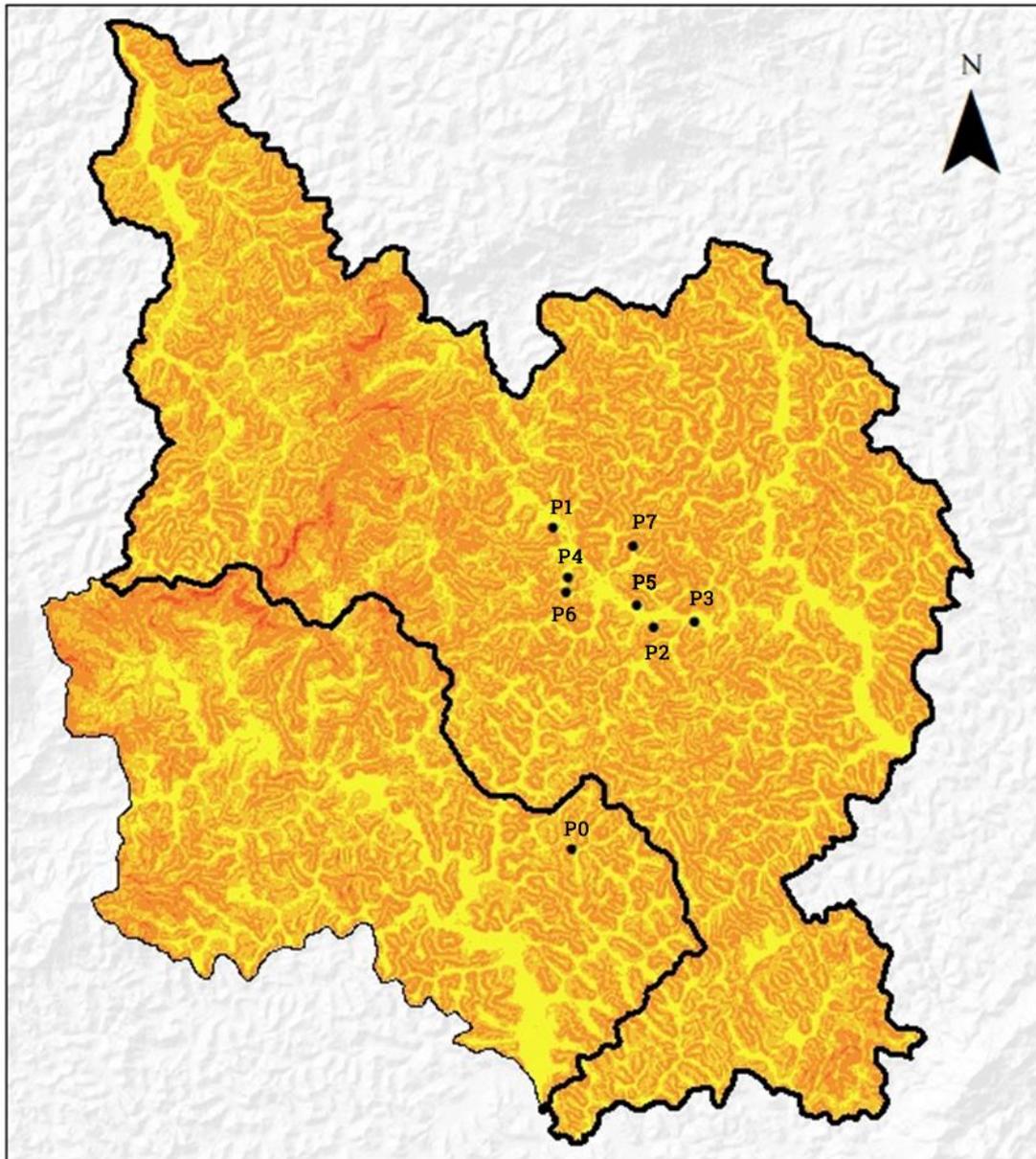
Fonte: INPE. Topodata, 2016

Data: Julho de 2016



Fonte: Elaboração própria

Mapa 3 – Ubá: Declividade



Legenda

- Pontos de coleta de dados
 - Município de Tocantins
 - Município de Ubá
- Declividade (°)**
- | | |
|---------|---------|
| 0 - 6 | 30 - 45 |
| 6 - 15 | > 45 |
| 15 - 30 | |

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

1:225.000

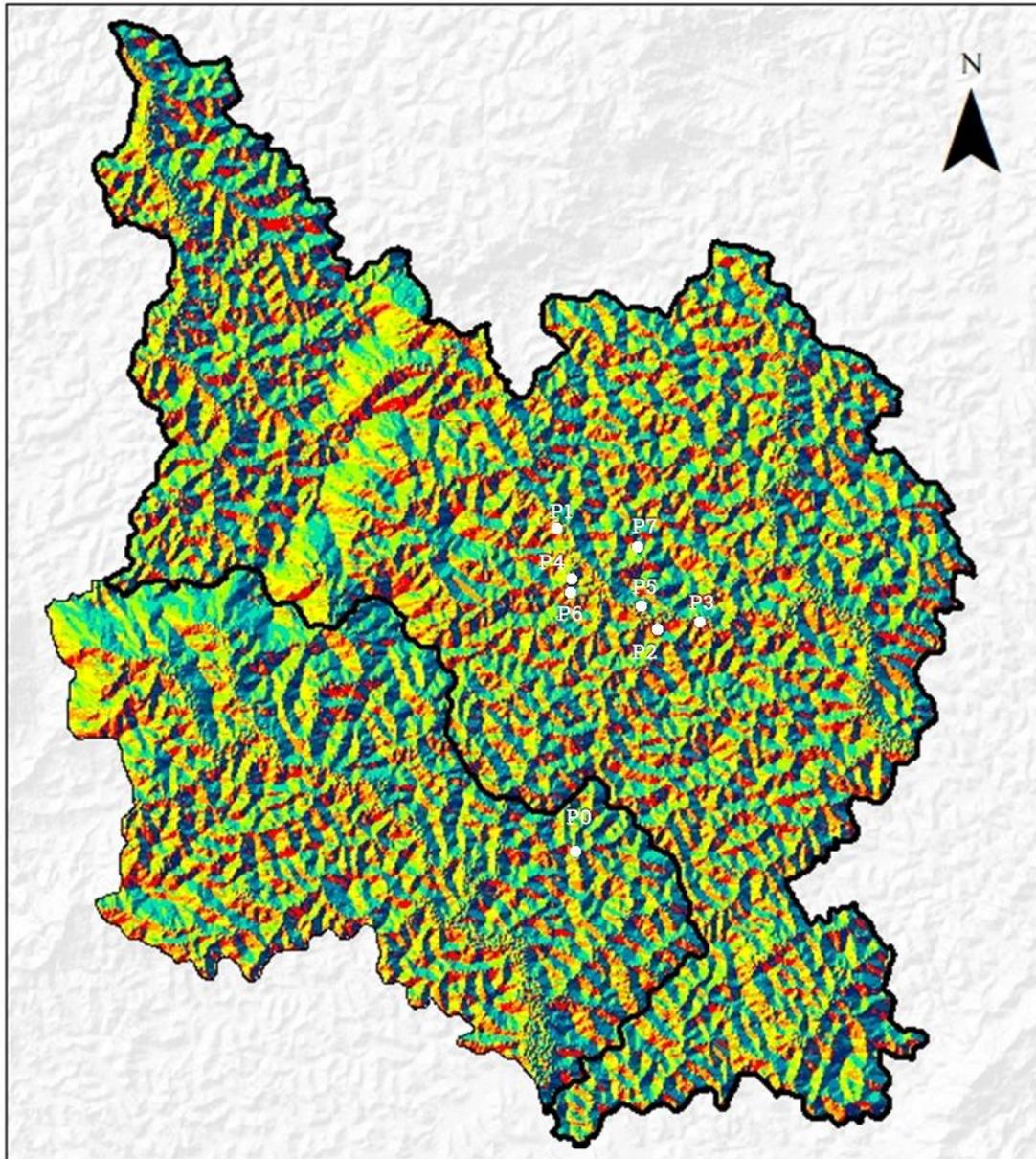


Autor: Vianna, Y.C.G
Fonte: INPE. Topodata, 2016
Data: Julho de 2016



Fonte: Elaboração própria

Mapa 4 – Ubá: Orientação das vertentes



Legenda

● Pontos de coleta de dados

□ Município de Tocantins

□ Município de Ubá

Orientação das vertentes

■ Plana	■ Sul
■ Norte	■ Suldoeste
■ Nordeste	■ Oeste
■ Leste	■ Noroeste
■ Sudeste	

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

1:225.000

0 2 4 8 Km

Autor: Vianna, Y.C.G

Fonte: INPE. Topodata, 2016

Data: Julho de 2016



Fonte: Elaboração própria

A economia de Ubá está assentada principalmente na Indústria, ela pode ser considerada uma cidade fortemente industrializada, como aponta os dados do IBGE (2017), 41,9% do Valor Adicionado bruto em Ubá é proveniente da indústria.

A título de comparação Juiz de Fora possui 22,5%, Belo Horizonte 21,2%, Betim 35,9% e Uberlândia 29,82%. Em Minas Gerais valores tão altos de participação industrial só encontramos em Ipatinga que tem 45% do seu PIB atrelado a indústria. Sendo que Ipatinga é um exemplo brasileiro de *company-town*, isto é, uma cidade que já surgiu industrial, como suporte à instalação de um grande projeto industrial, no caso a Usiminas, sendo a vida e a produção do espaço orientadas por essa indústria (CORREIA, 2001).

Apesar do dinamismo da microrregião de Ubá, a Zona da Mata como um todo é considerada uma microrregião em declínio (IPEA, 2001). Em 1985 era a terceira mais importante do estado em 1995 caiu para quinta. O setor agropecuário perdeu importância no contexto do estado e é caracterizado como não-moderno e de baixa produtividade. A indústria no conjunto é pouco dinâmica.

O setor industrial que se destaca no município de Ubá é o moveleiro. Oliveira (2010) relata que a marcenaria aparece na cidade no início do século XX trazida pelos imigrantes italianos que vieram para trabalhar nas lavouras de café e fumo.

O café voltado a exportação se espalhou pela Zona da Mata mineira e Ubá no fim do século XIX. A produção do café, como relata Albino (2009), na região trouxe a ferrovia e aumentou a importância e dinamismo dos núcleos urbanos. Com a crise de 1929 da Bolsa de Nova York a economia cafeeira brasileira também sofreu uma queda, o fumo que já era plantado na região ganha maior importância e se torna principal produto de exportação da cidade até década de 1950. O manejo errado de insumos e adubos, torna o fumo de baixa qualidade, sendo o mesmo rejeitado pelo mercado. Com a crise do fumo, começa a ganhar forma na década de 1960 o setor moveleiro na cidade.

Ao contar a história do polo moveleiro de Ubá, Oliveira (2010) dá destaque para a Domani aberta em 1959, que com auxílios de linhas de financiamento, se estabelece e se torna a principal manufatura da região ao longo da década de 1960 chegando a empregar 1200 funcionários.

Na década de 1970 produtos da Domani já eram vendidos em 16 estados, sua característica era foco na produção de móveis populares, com baixo nível de tecnologia empregada e utilizando madeira reconstituída como principal matéria-

prima. Em meados de 1970 a Domani fecha e isso levou ao surgimento de diversas micro e pequenas empresas fundadas por seus antigos empregados, o que explica especialmente a dispersão das indústrias e seus galpões por toda a cidade de Ubá, não havendo um distrito industrial ou parque industrial que concentre espacialmente a indústria em um ponto da cidade.

Ainda segundo Oliveira (2010) durante a década de 1980, as empresas se organizam em um sindicato Associação dos Fabricantes de Móveis de Ubá, o que contribuiu para a consolidação do polo moveleiro na cidade que já tinha adquirido uma relevância no setor nacional.

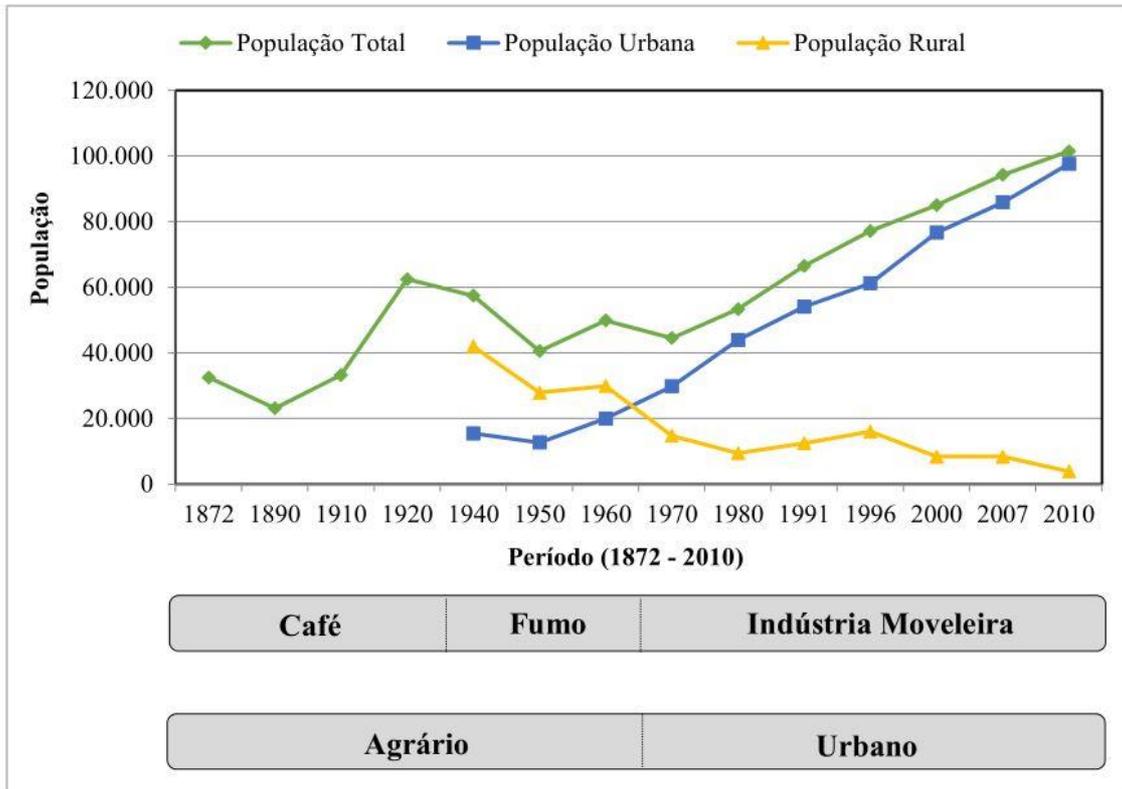
Em 1989 o sindicato se expande para abranger as empresas das cidades vizinhas, que também se tornaram produtoras de móveis surgindo Sindicato Intermunicipal das Indústrias de Marcenaria de Ubá - INTERSIND. Na década de 1990 o setor se moderniza com capacitação de pessoal e renovação de maquinário. Apesar de possuir grandes empresas predominam micro e pequenas empresas na cidade, oriundas do processo de desmembramento da Domani, que serviu como processo econômico de transbordamento de tecnologia.

Conforme os relatos de Oliveira (2010) Ubá sofre um rápido crescimento de sua população urbana, principalmente após década de 1950, graças ao desenvolvimento da indústria moveleira. Uma grande parcela do crescimento tem origem com o êxodo rural da população que já não encontrava emprego na zona rural e migrava com destino a cidade em busca de emprego no setor moveleiro nascente.

Além de migrações internas campo-cidade ocorreu também atração de migrantes de cidades vizinhas para o polo moveleiro de Ubá, parte desse processo pode ser verificado no Gráfico 4. A década de 1950 marca a passagem de uma população agrária que trabalhava na agricultura de subsistência, no café e depois no fumo para uma população urbana e industrial.

O decréscimo de população total mostrado no gráfico em alguns períodos se deve a emancipação de alguns municípios antes distritos de Ubá, como foi explicado e mostrado na Tabela 2 por Santos (2016).

Acompanhado desse processo de expansão populacional e industrial vem o processo de intenso crescimento da urbanização. A ocupação de Ubá ocorreu inicialmente ao longo dos vales fluviais, principalmente do Ribeirão Ubá, evitando subir as encostas pelas dificuldades de construção como colocado por Andrade (1961).

Gráfico 4 – Evolução da população de Ubá e ciclos econômicos

Fonte: Santos (2016)

Tabela 2 – Municípios emancipados de Ubá

Municípios Emancipados (Ano)	População Perdida
Visconde do Rio Branco (1881)	18.295
Senador Firmino (1938)	18.604
Guidoval (1948)	10.063
Tocantins (1948)	10.519
Divinésia (1962)	4.375
Rodeiro (1962)	4.308

Fonte: Santos (2016)

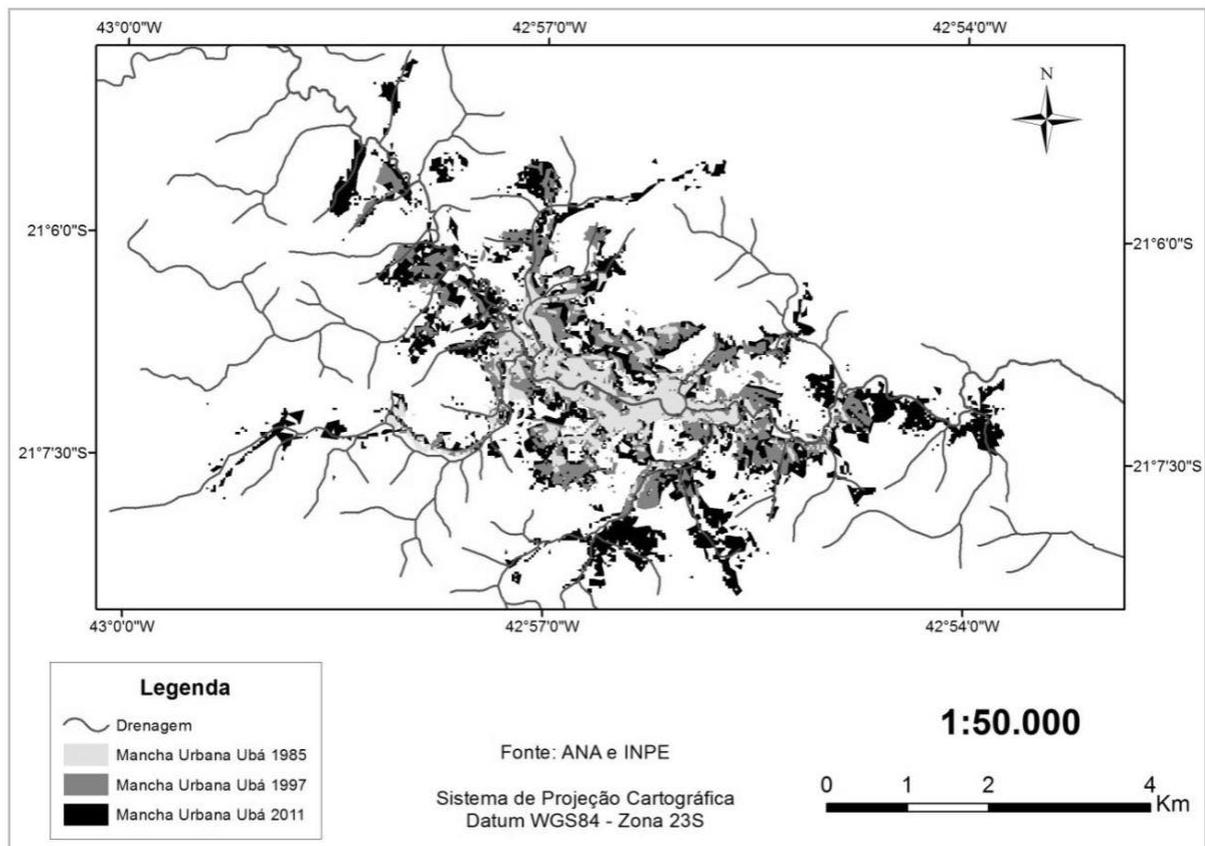
Porém a pressão demográfica, principalmente a partir da década de 1970, força a ocupação de áreas de meia encostas e topos de morros como visto no Mapa 4 de evolução da macha urbana. Parte dessa ocupação se dá em contradição com a legislação ambiental em áreas de proteção permanente (APP) como topos de morro, ao longo dos cursos d'água e encostas com alta declividade (acima de 45°). A ocupação de tais áreas se tornam um problema, pois são vulneráveis ao risco sócio-ambientais. Essa forma de ocupação segue o padrão geral da urbanização brasileira, mediado pelas complexas relações sociais capitalistas na qual o solo urbano é uma

mercadoria, a escolha das áreas a serem ocupadas segue a racionalidade econômica em vez das potencialidades oferecidas pela paisagem.

Em 1970 a população era segundo o censo do IBGE (2016a) de 44.503 habitantes em 1980 esse número salta para 53.306, um aumento de 19,8%, ou seja, em uma década a cidade cresceu quase um quinto. No censo de 1991, a população chega a 66.511 com crescimento de 24,8%, no censo de 2010 o crescimento continua acelerado chegando a 27,9% com população atingindo a marca de 85.065 habitantes. No último censo, 2010, tivemos uma relativa pequena desaceleração para uma taxa de crescimento de 19,3%, o que em termos absolutos ainda é uma taxa de crescimento significativa, e a população atingindo a marca de 100.000 habitantes, segundo o critério do IBGE a cidade atinge o patamar de cidade média.

No Mapa 5, destaca como o crescimento da população impactou no aumento da urbanização da cidade e expansão da malha urbana para além dos vales. Hoje vários afluentes menores do Ribeirão Ubá, principal corpo hídrico da cidade, estão praticamente todos canalizados ou soterrados.

Mapa 5 – Evolução da mancha urbana em Ubá de 1985-2011



Fonte: Santos (2016)

Essas características do meio físico e de suas derivações pela sociedade criam um conjunto de microclimas urbanos ao qual esse trabalho busca identificar.

3.1 UBÁ: UMA CIDADE MÉDIA

O critério mais utilizado para classificação das cidades médias é seu número de habitantes. Contudo na literatura atual sobre o tema a dimensão populacional é tida como um critério insuficiente. Segundo Garcia e Nogueira (2017) o conceito de cidade média vai além e se fundamenta na "complexidade funcional adquirida pela cidade, à posição que ela ocupa na hierarquia da rede urbana de sua região e, finalmente, ao papel que desempenha no circuito econômico regional."

O IBGE (2016b) considera o município de Ubá um Centro sub-regional B, dentro da capital regional de Juiz de Fora e sob hierarquia do Rio de Janeiro.

Amorim Filho et al. (2007) em suas pesquisas realizadas em 1982,1999 e 2006 identificou todas cidades médias de Minas Gerais e classificou-as em uma hierarquia de 4 níveis (de maior importância para de menor importância): Grandes Centros Regionais, Cidades Médias de Nível Superior, Cidades Médias Propriamente ditas e Centros emergentes.

Essa classificação leva em consideração diversas variáveis que cobrem indicadores como: demografia, atividades econômicas (agropecuárias e extrativistas, industriais e comerciais e de serviços) e comunicação e transportes. Variáveis que ajudam a entender a complexidade de funções e relações das cidades médias.

O município de Ubá aparece classificado dentro das cidades médias como uma "Cidade média propriamente dita" em todas três pesquisas. Essas cidades pertencentes a esse nível hierárquico, dentro do grupo das cidades médias, tem características intermediárias com população entre 20mil e 100mil habitantes, com funções e hierarquias também intermediárias. Possuem relações importantes de ligação com centros maiores, mas também intensas, constantes e diretas com as cidades pequenas e zona rural da sua microrregião. Isso fica claro nas relações de Ubá com outras cidades da sua microrregião e que fazem parte do polo moveleiro e sua forte ligação com Juiz de Fora que é um grande mercado para seus produtos moveleiros.

Em Garcia e Nogueira (2017) que utiliza o índice de terceirização (IT), que busca evidenciar a inserção das cidades mineiras na sua rede urbana, o município de Ubá também aparece como uma cidade média dado seu alto valor agregado na indústria e sua importância dentro do território mineiro.

Dado a diversidade de critérios e se pensando em estudos climáticos concorda-se com Fialho (2009) que o critério quantitativo na perspectiva do clima urbano é bastante significativo, pois o uma população maior criará proporcionalmente fluxos de energia maiores e mais densos. Ubá tendo mais de 100mil habitantes estaria próximo ao limite inferior de 100mil a 500mil habitantes que define uma cidade média por critérios quantitativos. O que reflete bem as características do uso e ocupação do solo na cidade que apesar de ser enquadrada como cidade média, ainda mantém características próximas das cidades pequenas da região como baixa verticalização e adensamento na região central.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro passo para modelagem e investigação do clima urbano na cidade de Ubá foi o uso do sensoriamento remoto. Este serviu como ferramenta para uma aproximação inicial das áreas de maior e menor aquecimento das superfícies. A identificação de áreas com comportamento das temperaturas das superfícies similares serviu de base para identificação de áreas representativas para aplicação da modelagem e posicionamento das estações fixas de coleta de dados da temperatura do ar.

4.1 TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

O Mapa 6 mostra o levantamento das temperaturas de superfície no dia 12 de janeiro de 2015 através da utilização dos dados captados pela banda 10 do satélite *Landsat*. Essa imagem é a mesma utilizada no trabalho de PIMENTEL (2017) em sua investigação do clima urbano da cidade de Juiz de Fora em Minas Gerais. De acordo com a autora no momento de captura dessa imagem a mesorregião da Zona da mata estava sob influência de um sistema de alta pressão, o que garante condições ideais para o desenvolvimento das ilhas de calor.

O Mapa 7 mostra também um levantamento das temperaturas de superfície em Ubá no dia 20 de janeiro de 2018 coincidente com o período de coleta dos dados de temperatura do ar. O que é algo bastante raro dado as poucas imagens disponibilizadas do *Landsat*. No dia de captura dessa cena, estava em atuação um sistema de alta pressão, Massa Tropical Continental, o que garantiu condições de baixa nebulosidade, baixa velocidades do vento que permitiram maior aquecimento das superfícies.

O Mapa 8 corresponde a uma imagem do período de inverno 25 de julho de 2016. Evidenciando os menores valores das temperaturas de superfície nesse período do ano e uma maior homogeneidade, inclusive uma dificuldade de identificar pela temperatura de superfície a região mais urbanizada do município. Boa parte das altas temperaturas de superfície se dão nas áreas rurais. Nessa cena vemos como a orientação das vertentes é uma variável de maior importância para o aquecimento superficial durante o inverno.

Esta informação fica muito evidente nas imagens do período do verão, onde a mancha urbana e as maiores temperaturas do ar ficam quase que perfeitamente sobrepostas. A média das temperaturas de superfície é de 22,8°C com desvio padrão de 1,86°C, sua temperatura mínima é de 17,5°C e a máxima de 32,8°C.

As menores temperaturas de superfície se concentram a noroeste do município na serra de Ubari onde são encontradas as formas do relevo de maior altitude do município. Segundo Plano Diretor de Ubá essa área faz parte de uma Zona de Proteção Ambiental “que compreende as áreas ocupadas por Unidades de Conservação, áreas de preservação permanente, reservas legais averbadas e remanescentes florestais significativos”. (UBÁ, 2018)

Além de ser uma área que concentra resquícios de vegetação, as maiores altitudes dado o gradiente adiabático do ar influenciam também nas menores temperaturas de superfície. Pois estas estão em constante troca de calor com o ar.

Ao analisar as duas imagens de verão identifica-se que a imagem de 12 de janeiro de 2015 apresenta maiores temperaturas de superfície, a média das temperaturas de superfície é de 31°C, sua temperatura mínima é de 24,4°C e a máxima de 43,8°C (Mapa 6). Já a imagem de 20 de janeiro de 2018 apresenta uma média menor de 29°C e temperatura mínima também de 24,4°C e uma temperatura máxima menor de 37,5°C (Mapa 7).

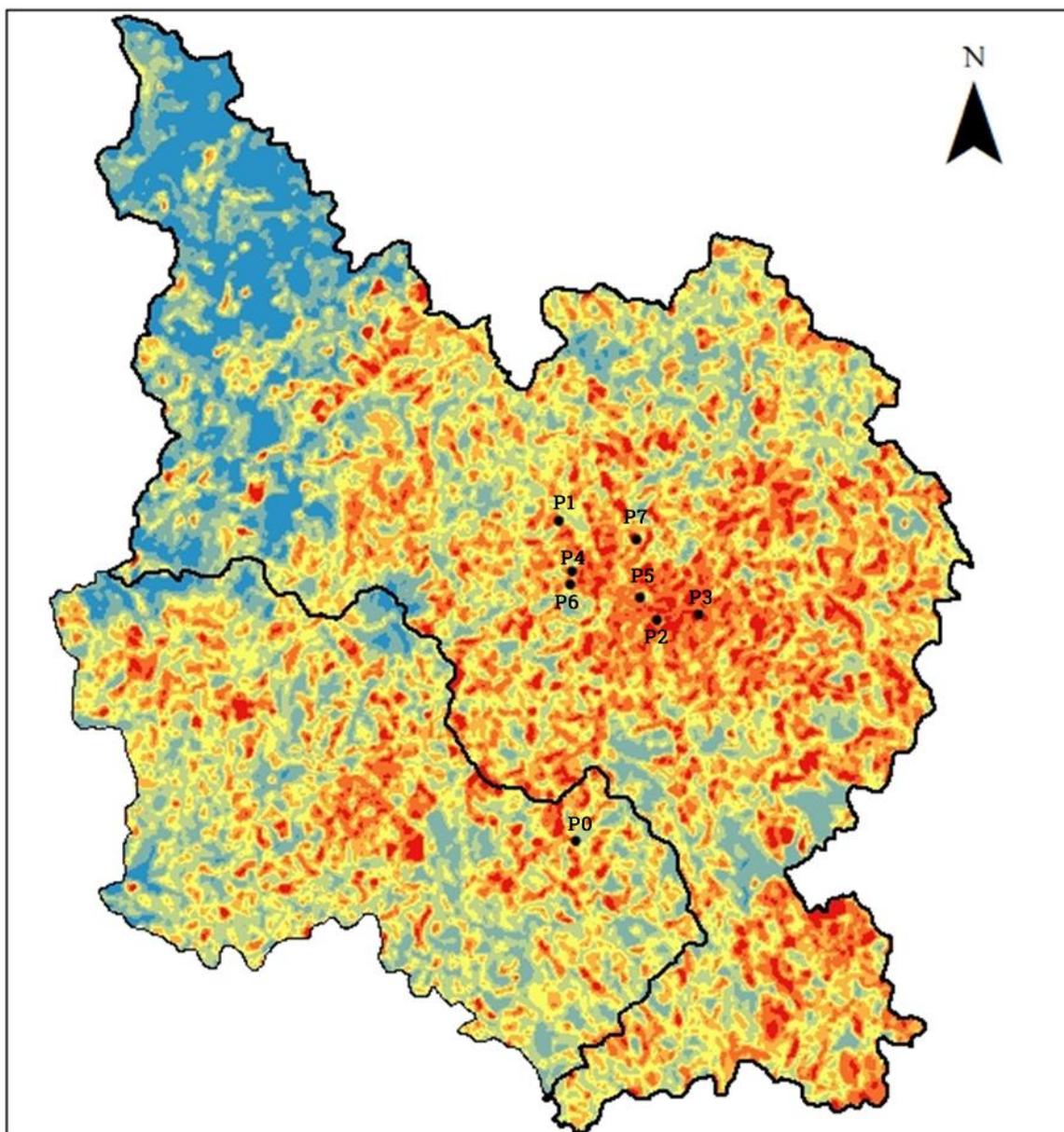
Inicialmente dado o desenvolvimento da cidade era de se esperar que a imagem de 2018 apresentasse maiores temperaturas de superfície dado o avanço da urbanização e população em 3 anos. Porém ao utilizarmos apenas uma imagem de satélite, dado a baixa disponibilidade de imagens, podem-se estar subestimando ou superestimando as temperaturas de superfície habituais de uma área. O aquecimento das superfícies em grande parte está condicionado as condições gerais de circulação da atmosfera.

Esse é um dos motivos que trabalhos de “evolução de temperatura” comparando a mesma área com um espaço de tempo entre duas imagens tem pouca confiabilidade, conforme crítica feita por Jardim (2010). Mesmo quando as cenas são tiradas em uma mesma estação, em um mesmo mês sob atuação de um mesmo sistema atmosférico a intensidade do sistema atuante pode variar. Para esse tipo de comparação é necessário ao menos uma estação fixa para entendimento e comparação das condições atmosféricas, o que não é uma realidade em Ubá. Se faz necessário verificar a sucessão e encadeamento dos tipos de tempos na ocasião das

cenar, analisar se foram registrados desvios da temperatura durante aqueles anos em relação ao ano padrão ou se há atuação do *El Niño* no dia de captura das imagens.

A principal aplicação do sensoriamento remoto é uma aproximação inicial de áreas potencialmente mais quentes no ambiente urbano, as quais mais tarde devem ser investigadas de forma mais contínua com métodos de estações fixas ou transectos.

Mapa 6 – Temperatura de superfície – 12 de janeiro de 2015



Legenda

- Pontos de Coleta
- Município de Ubá

Temperatura de superfície (°C)

24,4 - 27,6	32 - 33,1
27,7 - 29,4	33,2 - 34,5
29,5 - 30,8	34,6 - 43,8
30,9 - 31,9	

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

1:220.000

0 2 4 8 Km

Autor: Vianna, Y.C.G

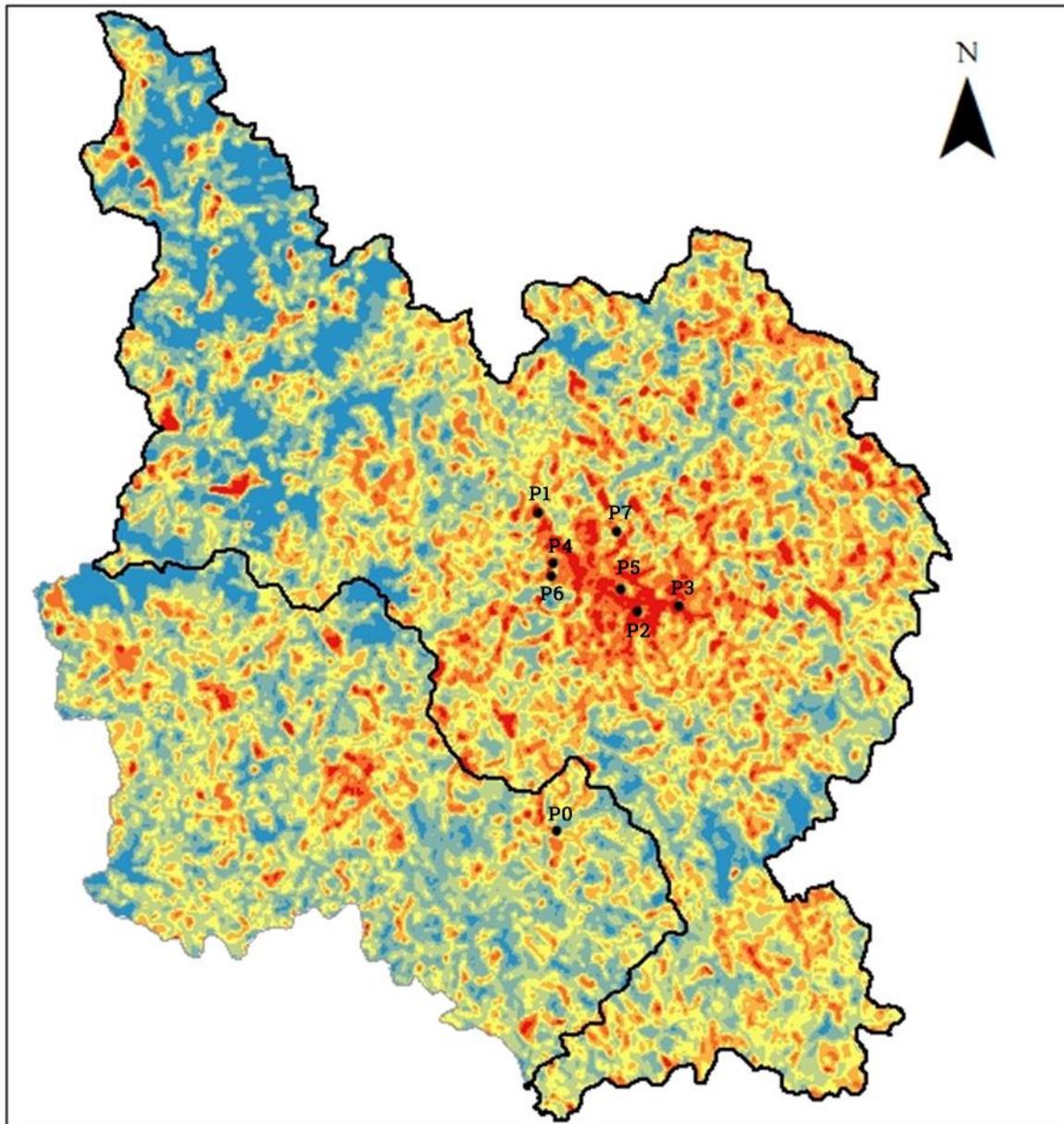
Fonte:
USGS. Landsat 8, 2016.

Data: Julho de 2016



Fonte: Elaboração própria.

Mapa 7 – Temperatura de superfície – 20 de janeiro de 2018



Legenda

- Pontos de Coleta
- ▭ Município de Ubá

Temperatura de superfície (°C)

<ul style="list-style-type: none"> 24,4 - 26,8 26,9 - 28,1 28,2 - 29,1 29,2 - 29,9 	<ul style="list-style-type: none"> 30 - 31 31,1 - 32,4 32,5 - 37,5
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

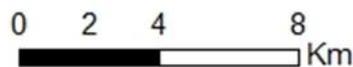
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Autor: Vianna, Y.C.G

Fonte:
USGS. Landsat 8, 2018

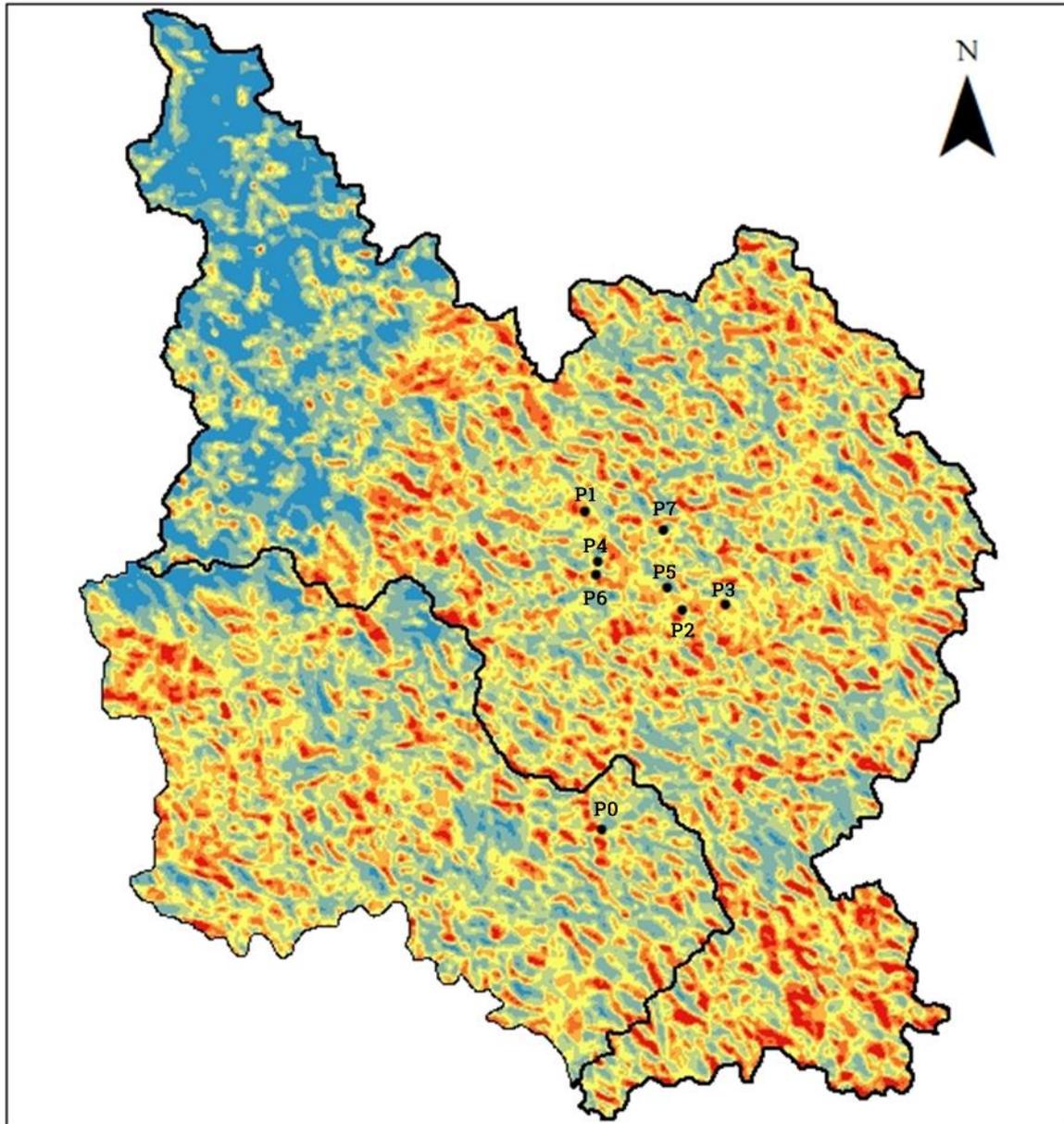
Data: Março de 2018

1:220.000



Fonte: Elaboração própria.

Mapa 8 – Temperatura de superfície – 25 de julho de 2016



Legenda

- Pontos de Coleta
- Município de Ubá

Temperatura de superfície (°C)

<ul style="list-style-type: none"> 17,5 - 20,3 20,4 - 21,6 21,7 - 22,7 22,8 - 23,8 	<ul style="list-style-type: none"> 23,9 - 25 25,1 - 26,3 26,4 - 32,8
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

1:220.000



Autor: Vianna, Y.C.G
Fonte: USGS. Landsat 8, 2016.
Data: Julho de 2016



Fonte: Elaboração própria.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

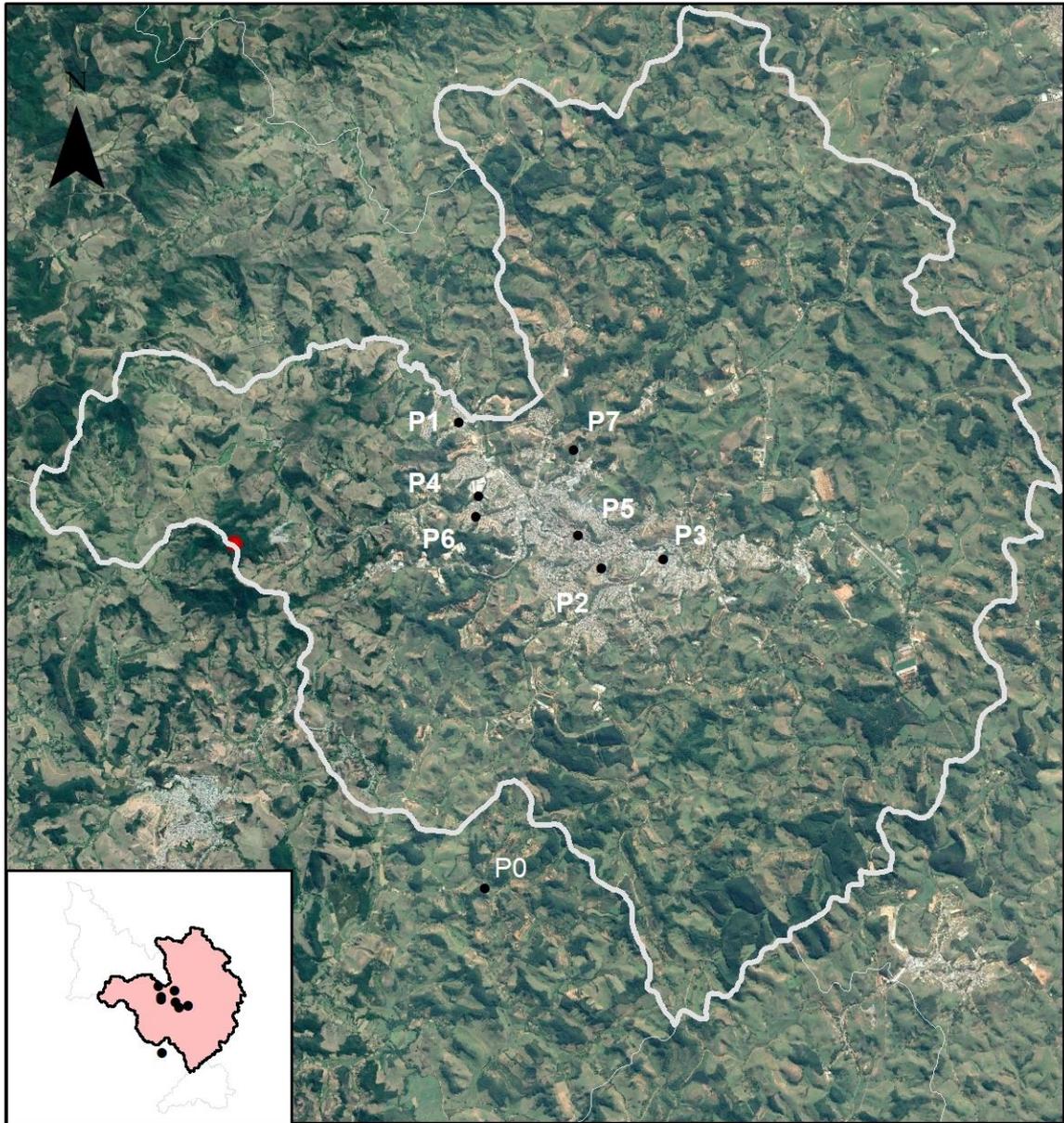
Segundo Mendonça (2003) a identificação o mais detalhada possível dos diferentes espaços intraurbanos é de grande importância, pois permite inferir os fatores causadores da diferenciação climática no interior da cidade.

Nas palavras de Jardim e Ferreira (2005)

as variações dos elementos climáticos ao longo do tempo e nos diferentes locais onde realizaram-se as observações, resultado de um balanço desigual de energia, fruto da maneira como ocorre a distribuição e a organização dos controles climáticos de superfície, naturais e/ou produzidos.

Os pontos de coleta deste trabalho que estão representados no Mapa 9, todos pontos urbanos pertencem ao distrito sede do município. Eles foram distribuídos pela cidade e área rural de modo a serem representativos dos diferentes usos e ocupações, características naturais e de suas respostas térmicas analisadas na imagem de satélite.

Mapa 9 – Pontos de coleta

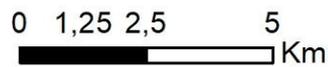


Legenda

- Pontos de Coleta
- ▭ Distrito Sede de Ubá
- ▭ Município de Ubá

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000
 Fuso: 23S

1:150.000



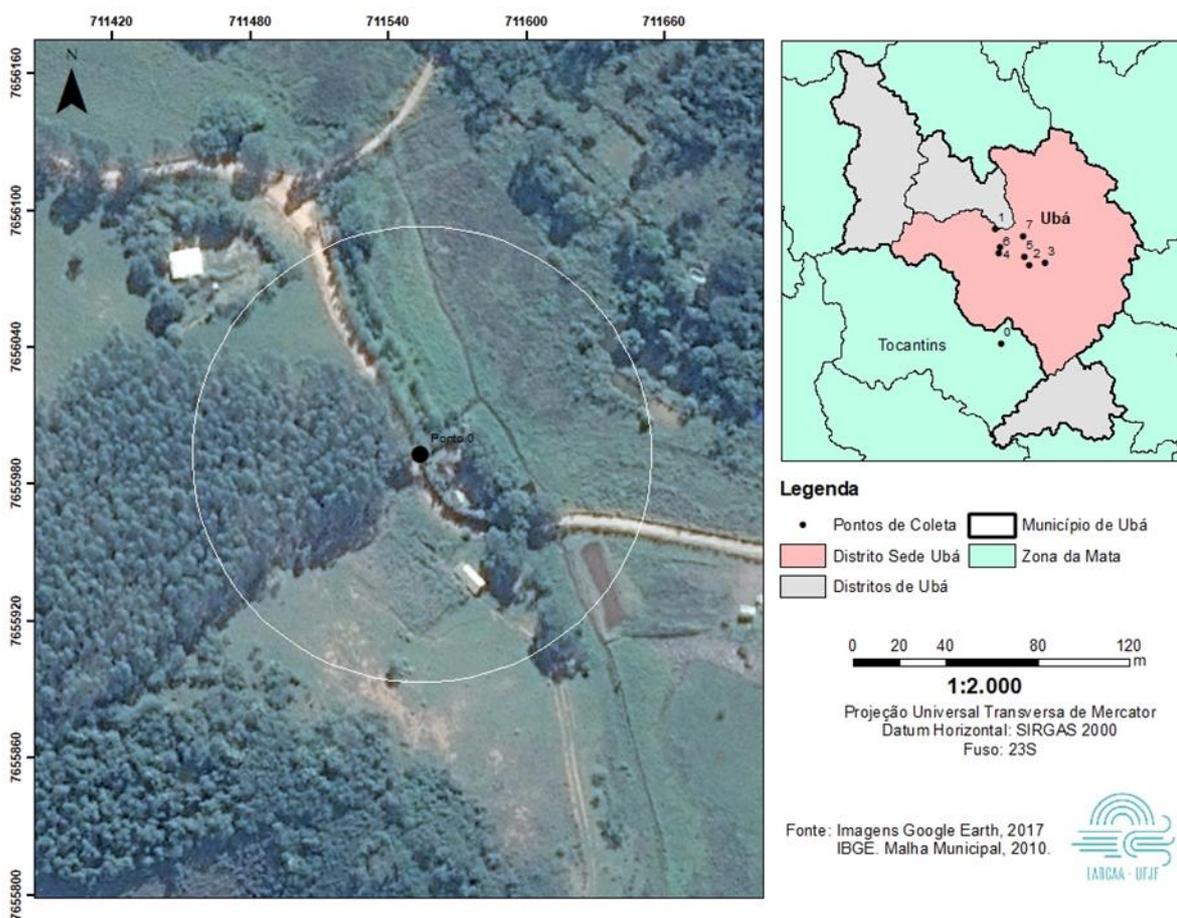
Fonte:
 GOOGLE. Goole Earth
 Pro, 2017
 IBGE. Distritos Municipais, 2015.

Data: Julho de 2016

Fonte: Elaboração própria

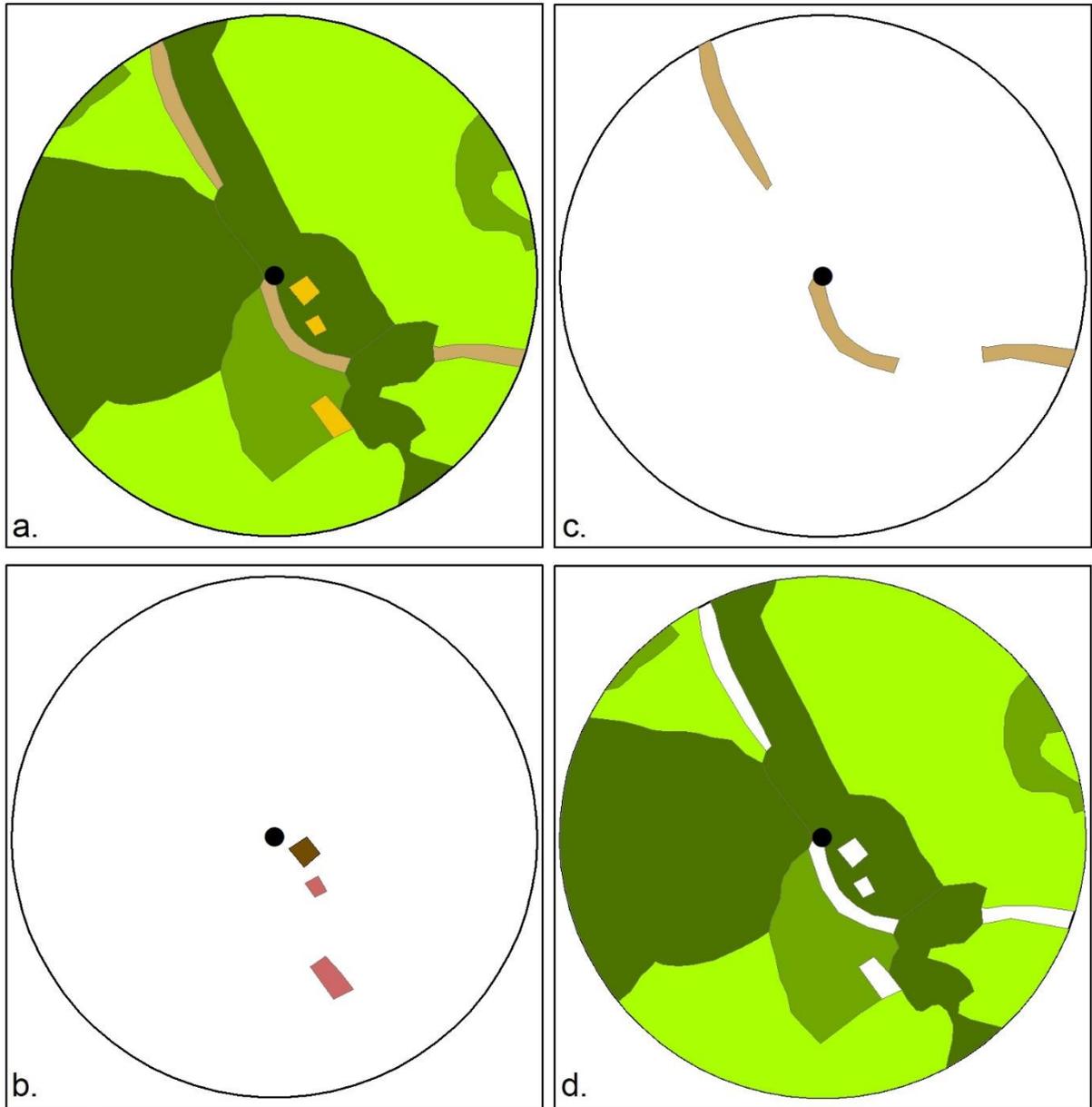
O ponto 0 (Mapa 10) é o ponto localizado na zona rural, ele é o ponto utilizado como referência da temperatura do ar para todos os outros pontos urbanos, pois ele representa uma área que não é afetada pela urbanização, refletindo apenas o clima regional. Sua localização é representativa dos arredores rurais da região que mesclam pastagens e resquícios de matas secundárias que se desenvolveram após a cultura do café e fumo na região. Esse ponto tem apenas 0,7% de sua área construída ou impermeável. Está a 370m de altitude em uma vertente orientada a nordeste com baixa declividade entre 6° e 15°. A estação foi colocada em área descoberta contudo próxima a uma grande mangueira, podendo sofrer algum sombreamento durante o dia. As características naturais e de uso e ocupação do solo na zona rural estão no Mapa básico 11.

Mapa 10 – Ponto 0



Fonte: Elaboração própria

Mapa 11 – Ponto 0 – Características da Zona Rural



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5-14

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

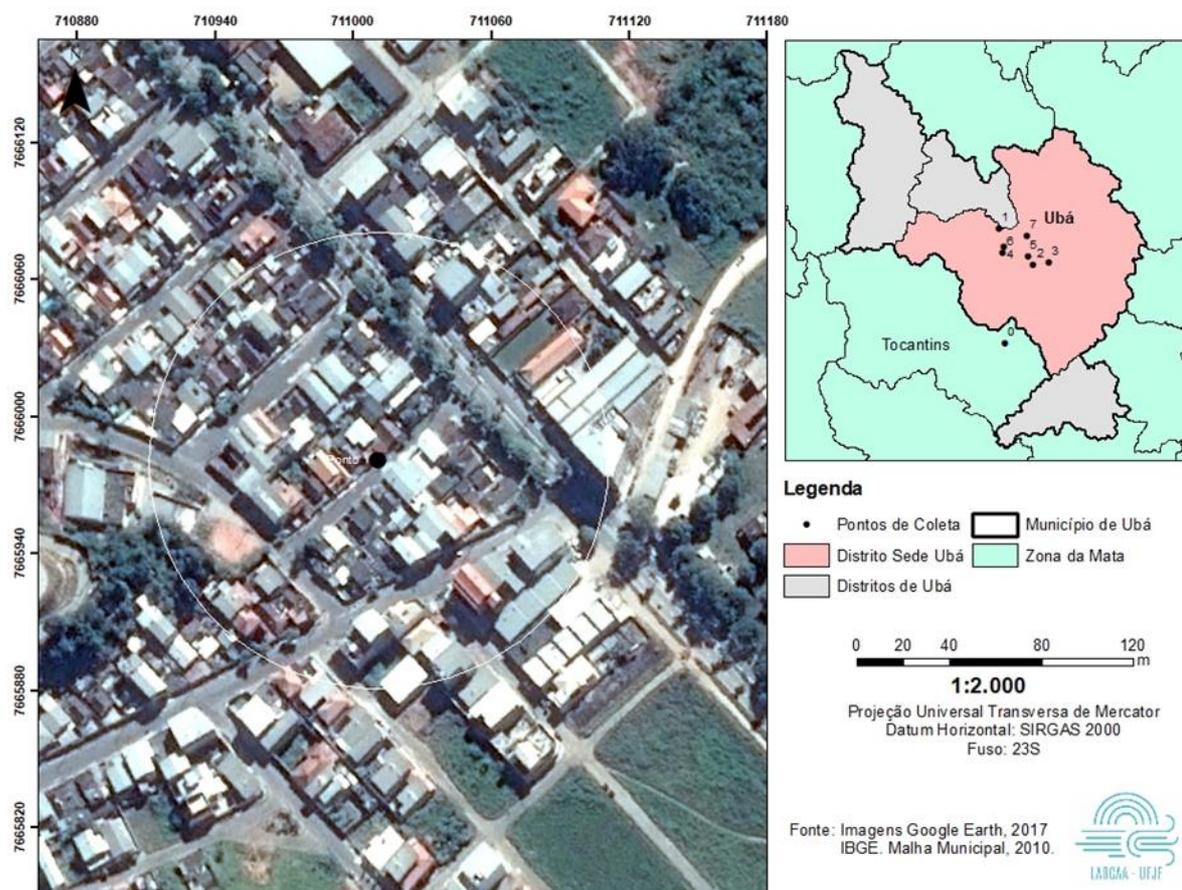
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

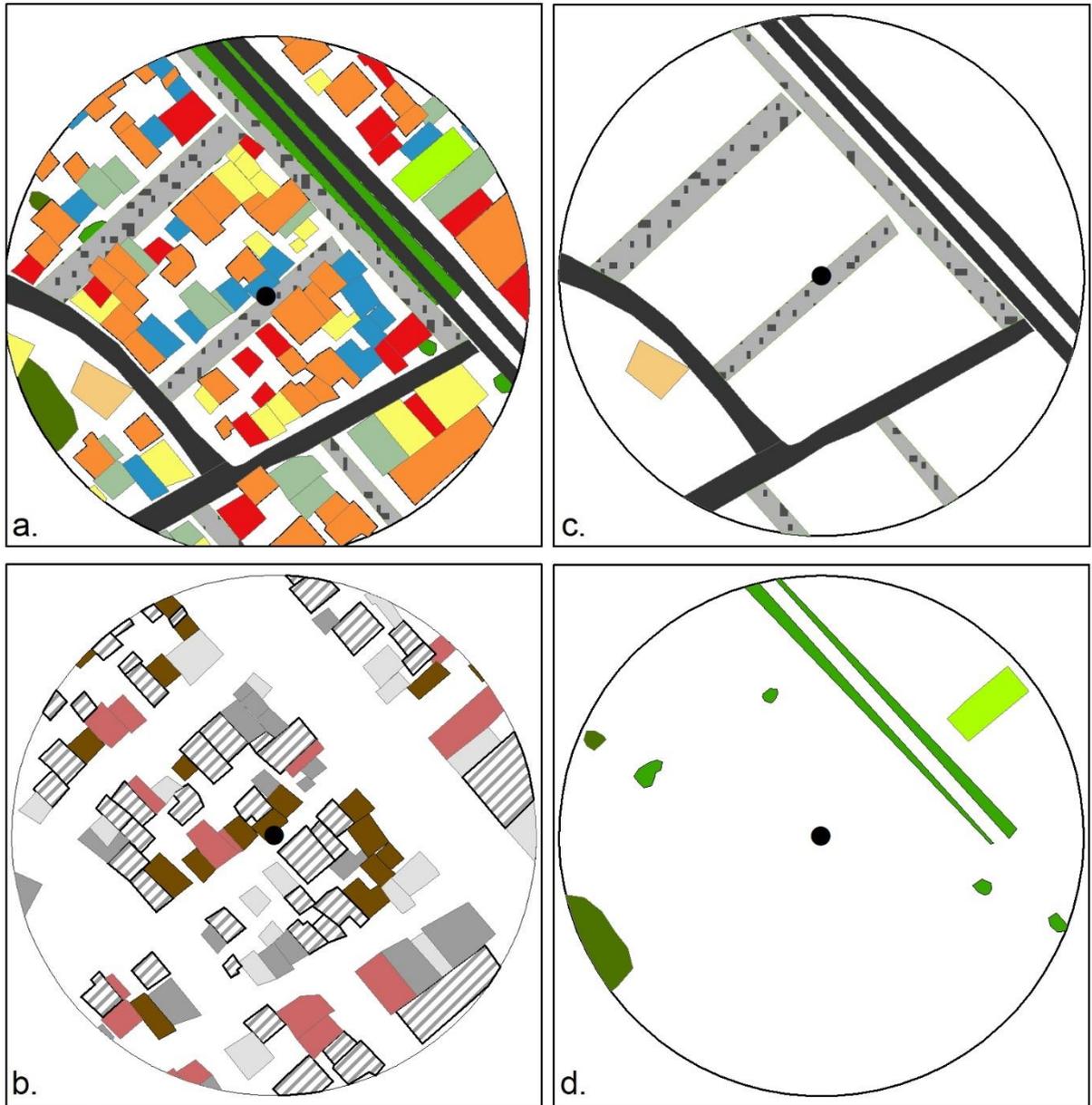
O ponto 1 (Mapa 12) fica no bairro Antonina Coelho, local também conhecido como COHAB, está a 360m de altitude em uma vertente orientada a nordeste quase plana com declividade na classe entre 0° e 6°. O uso e ocupação da região é predominante residencial, contudo como é comum na cidade à presença de alguns galpões da indústria moveleira ou comerciais. As características da urbanização estão no Mapa básico 13. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 84,1%. A estação ficou alocada na área externa da casa com mais de um metro de distância de superfícies verticais sobre um piso de cerâmica bege. No raio de 100m foram identificadas 114 edificações delas: 16% possuíam cobertura de Laje, 17% de telhas de fibrocimento, 38% telhas metálicas, telhas coloniais novas e limpas 13% e 17% e telha coloniais velhas e sujas. Das 114 construções no raio de 100 da estação a maior parte 70 possuem 1 pavimento, 35 possuem 2 pavimentos, 2 três pavimentos, 1 prédio de quatro andares e um prédio de 5 andares.

Mapa 12 – Ponto 1



Fonte: Elaboração própria

Mapa 13 – Ponto 1 - Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5-14

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000
 Fuso: 23S

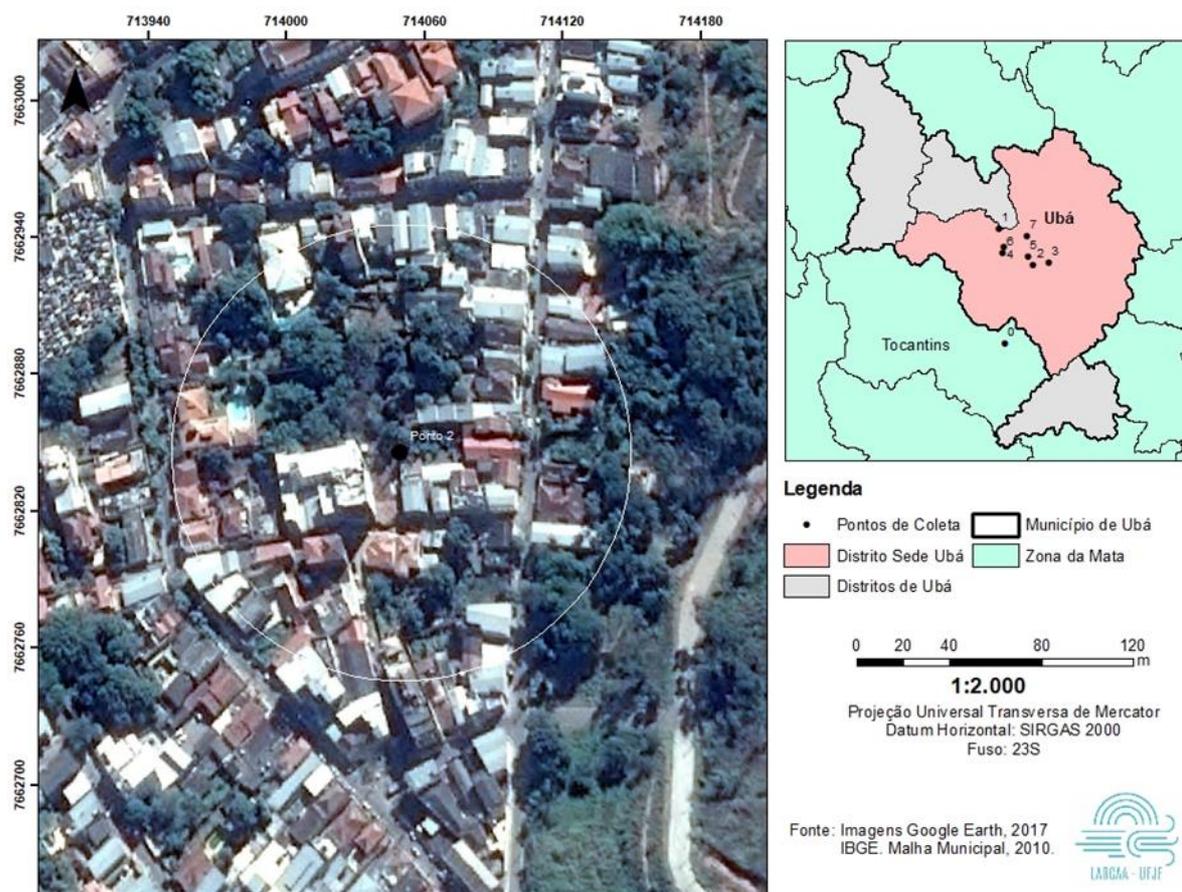
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

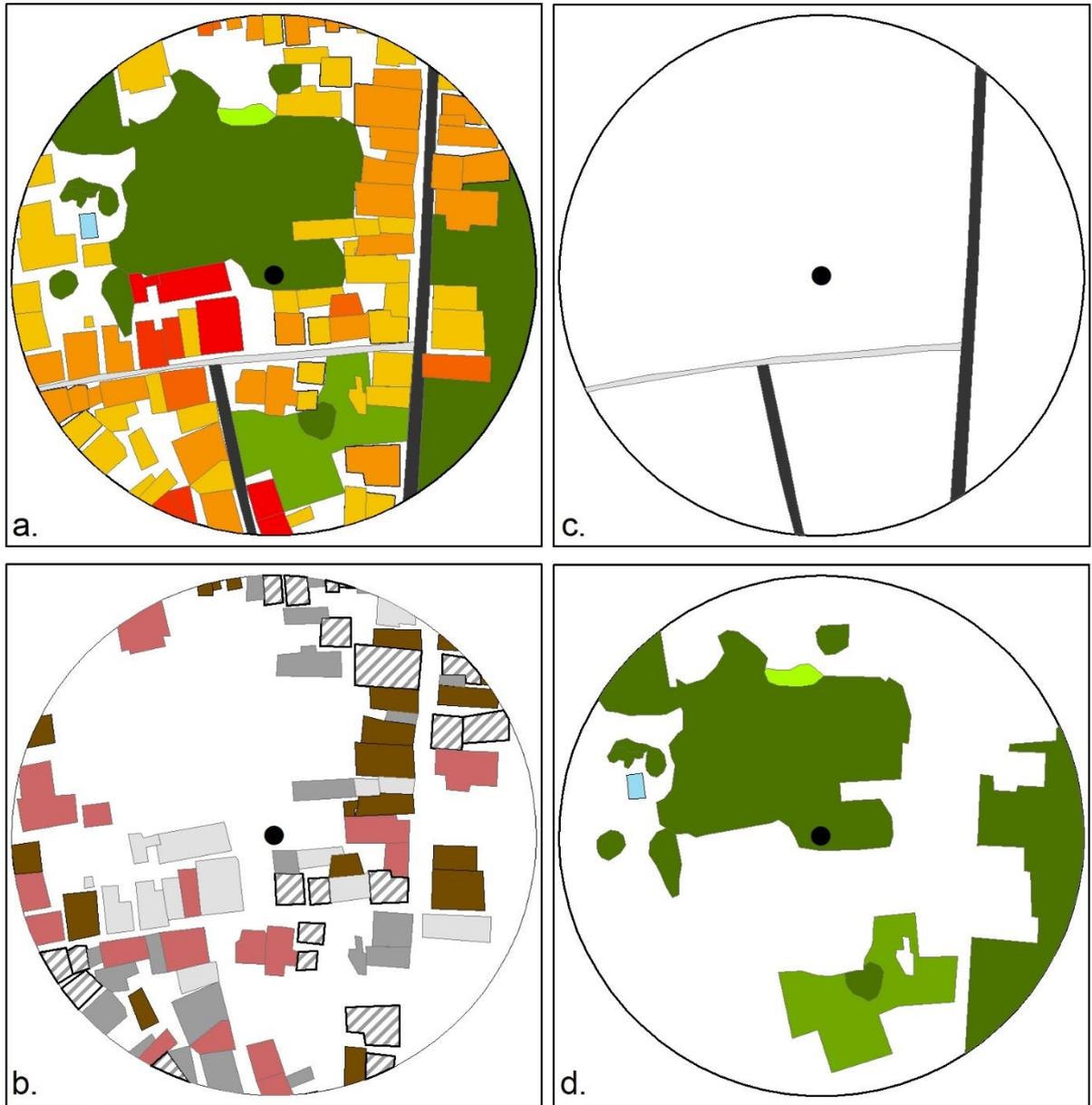
O ponto 2 (Mapa 14) fica no centro de Ubá em uma área exclusivamente residencial, fica localizado nas bordas da região central. Apresenta alguns terrenos vagos, esses terrenos estão cobertos por vegetação rasteira e em alguns deles arbórea. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 65,5%. Esse ponto está a 343 m de altitude em uma vertente orientada ao sul quase plana com declividade na classe entre 0° e 6. A estação ficou nos fundos da casa sobre o piso de cimento com distância de um metro de superfícies verticais, mas próxima a um canteiro com flores e vasos de plantas. Das 93 edificações nessa área: 15% possuíam cobertura de Laje, 23% de fibrocimento, 22% telha metálica, telha cerâmicas limpas 18% e telha cerâmicas sujas 23% conforme vemos no Mapa básico 15. Desse total edificações com 1 andar são 46, 33 de dois pavimentos, 5 de três pavimentos, 4 de quatro andares e 5 de cinco andares.

Mapa 14 – Ponto 2



Fonte: Elaboração própria

Mapa 15 – Ponto 2 - Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5-14

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

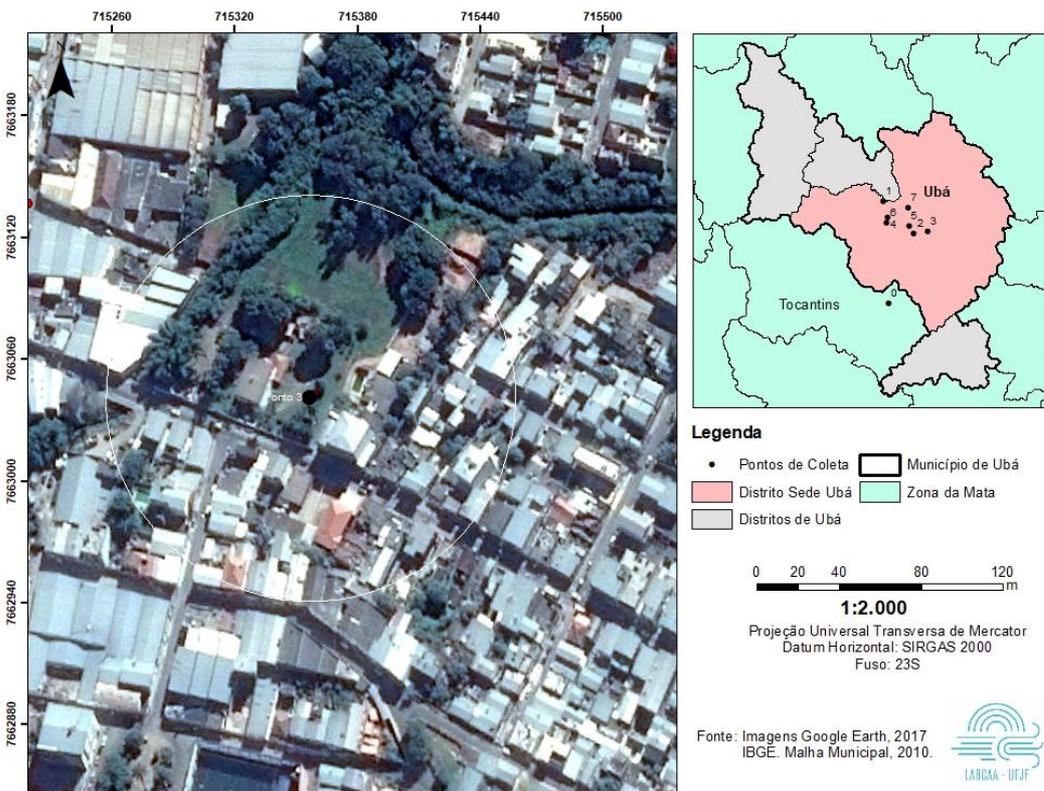
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

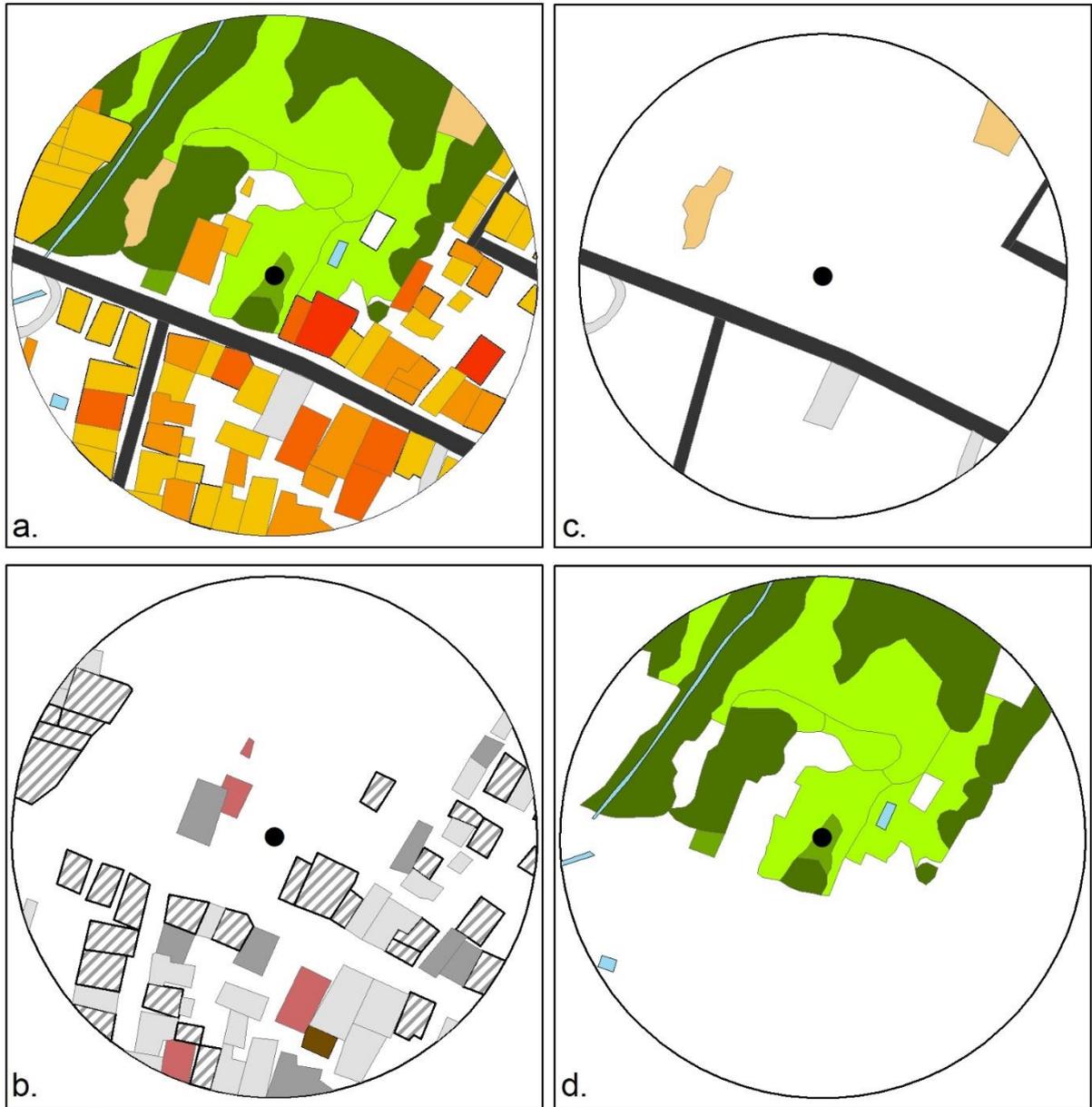
O ponto 3 (Mapa 16) fica no bairro Industrial que possui um uso mais misto entre residências e galpões industriais como o próprio nome sugere. A estação foi alocada em uma casa de alto padrão com uma taxa de ocupação do terreno baixíssima possuindo uma grande área livre gramada e parte ocupada com vegetação arbórea, o terreno é contornado por um córrego que tem sua mata ciliar preservada. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 60,4%. A estação ficou sobre o gramado. Altitude do ponto é de 332m e está em uma vertente voltada a direção norte quase plana com declividade na classe entre 0° e 6. Das 93 edificações nessa área: 37% possuíam cobertura de Laje, 11% de fibrocimento, 6% telha metálica, telha cerâmicas limpas 1% e telha cerâmicas sujas 31% conforme vemos na no Mapa básico 16. Dessas edificações 41 tinham 1 pavimento, 19 dois pavimentos, 7 três pavimentos e 4 edifícios tem 4 andares.

Mapa 16 – Ponto 3



Fonte: Elaboração própria

Mapa 16 – Ponto 3 - Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- | | |
|-----|--------|
| □ 0 | □ 3 |
| □ 1 | □ 4 |
| □ 2 | □ 5-14 |

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

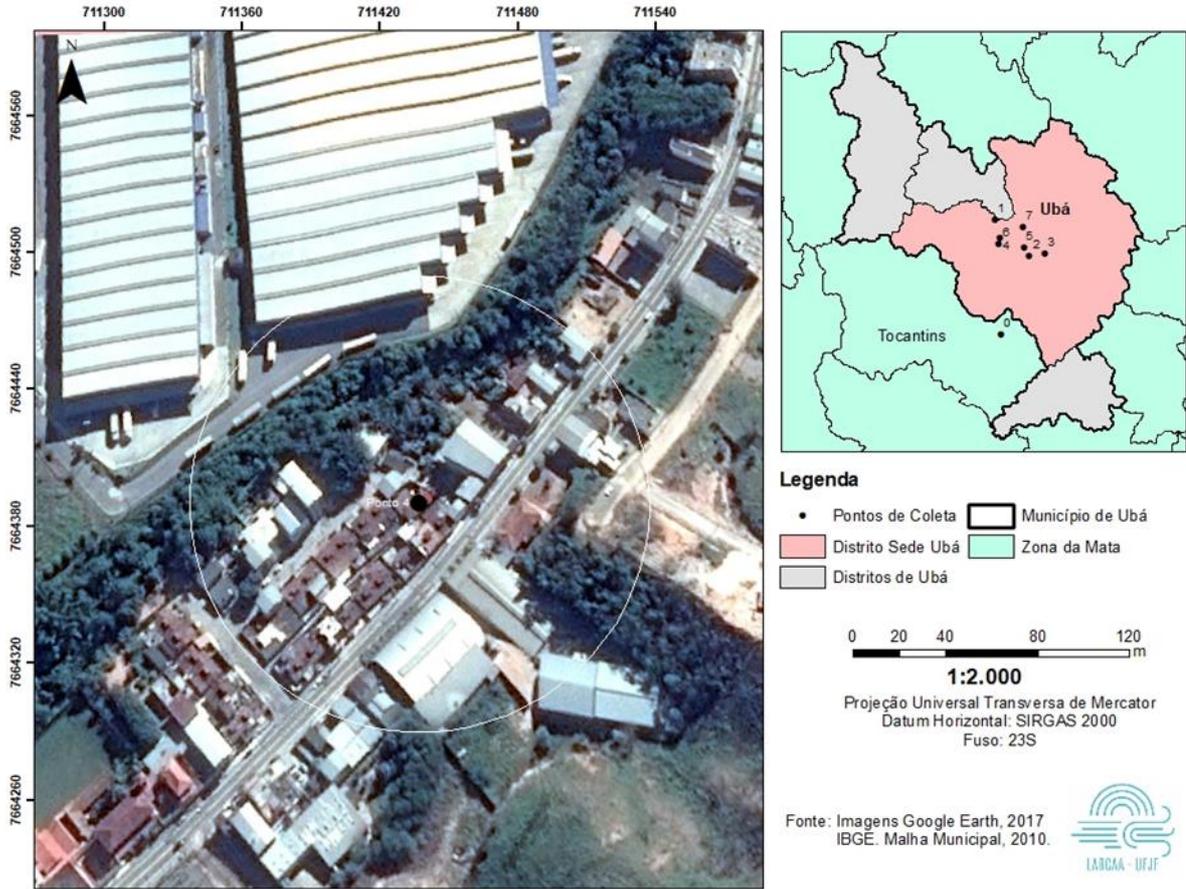
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

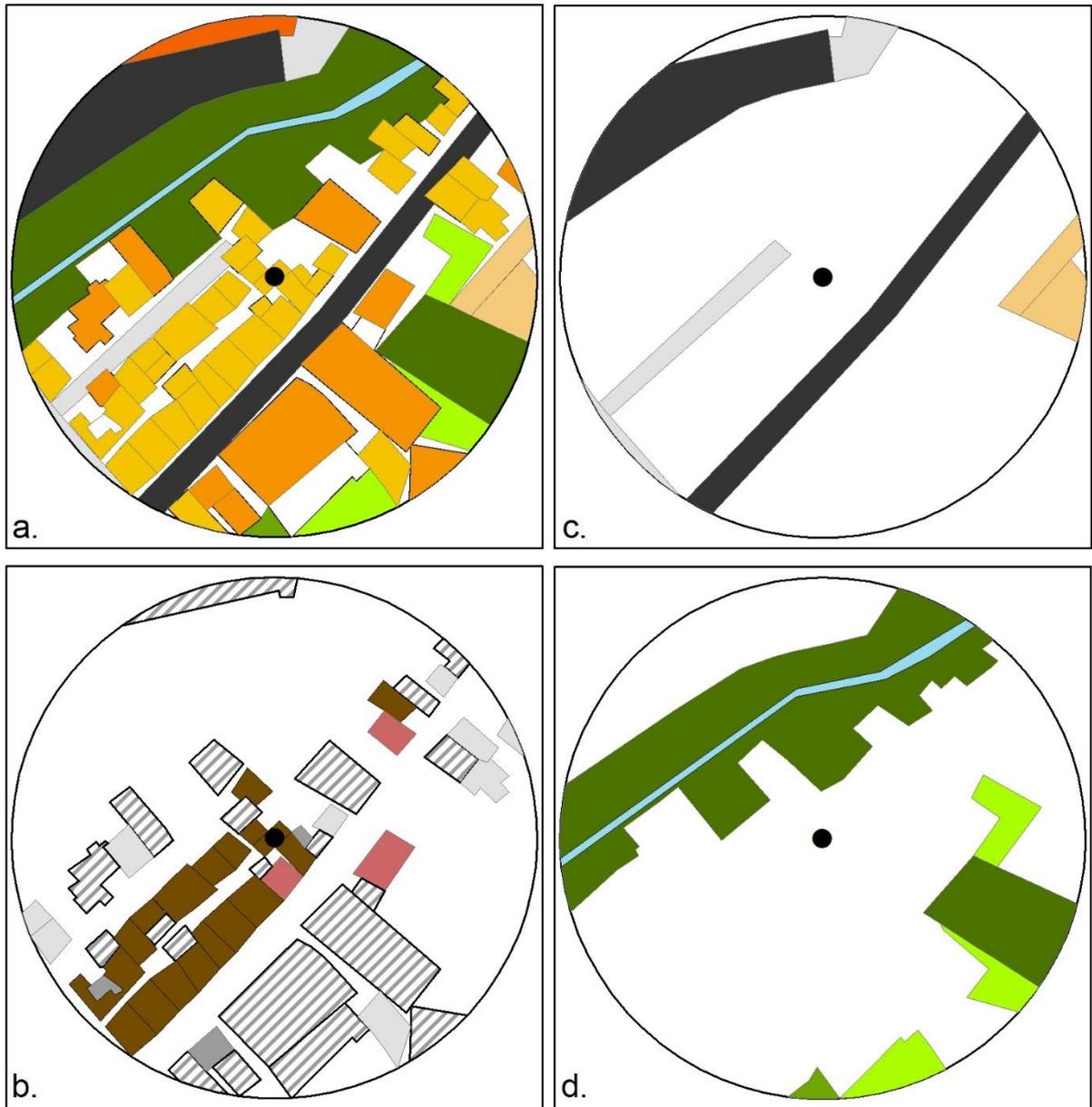
O Ponto 4 (Mapa 17) fica no bairro oficialmente chamado de Habitat I, mas o local é mais conhecido como Vila da Itatiaia, nome que vem da fábrica Itatiaia que é a maior produtora de móveis da cidade que fica próximo ao ponto, originalmente as moradias eram de funcionários da empresa. No raio de influência da estação estão presentes as moradias de funcionários, alguns galpões de outras fábricas e uma parte da área ocupada pela fábrica da Itatiaia. Nos limites da fábrica passa um córrego que possui uma mata ciliar em suas margens, o que faz com que a fábrica fique desconectada das moradias vizinhas por essa barreira de vegetação. Seu percentual de área construída ou impermeabilizada é de 67,7%. Nesse ponto a estação ficou em um corredor nos fundos da casa, por isso próximo as paredes e muro da mesma e sobre pavimento de concreto. Altitude do local é de 353m em uma vertente voltada a Oeste quase plana com declividade na classe entre 0° e 6. Nesse ponto existem 54 edificações, sendo 39 de 1 pavimento, 11 de dois andares e 1 de três andares. Dessas 6% com coberturas de telhas de fibrocimento, 17% com laje, 6% de telha cerâmica e 33% com telhas cerâmicas envelhecidas e 39% com telhas metálicas. Essas características estão representadas no Mapa básico 18.

Mapa 17 – Ponto 4



Fonte: Elaboração própria

Mapa 18 – Ponto 4 - Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- | | |
|-----|--------|
| □ 0 | □ 3 |
| □ 1 | □ 4 |
| □ 2 | □ 5-14 |

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

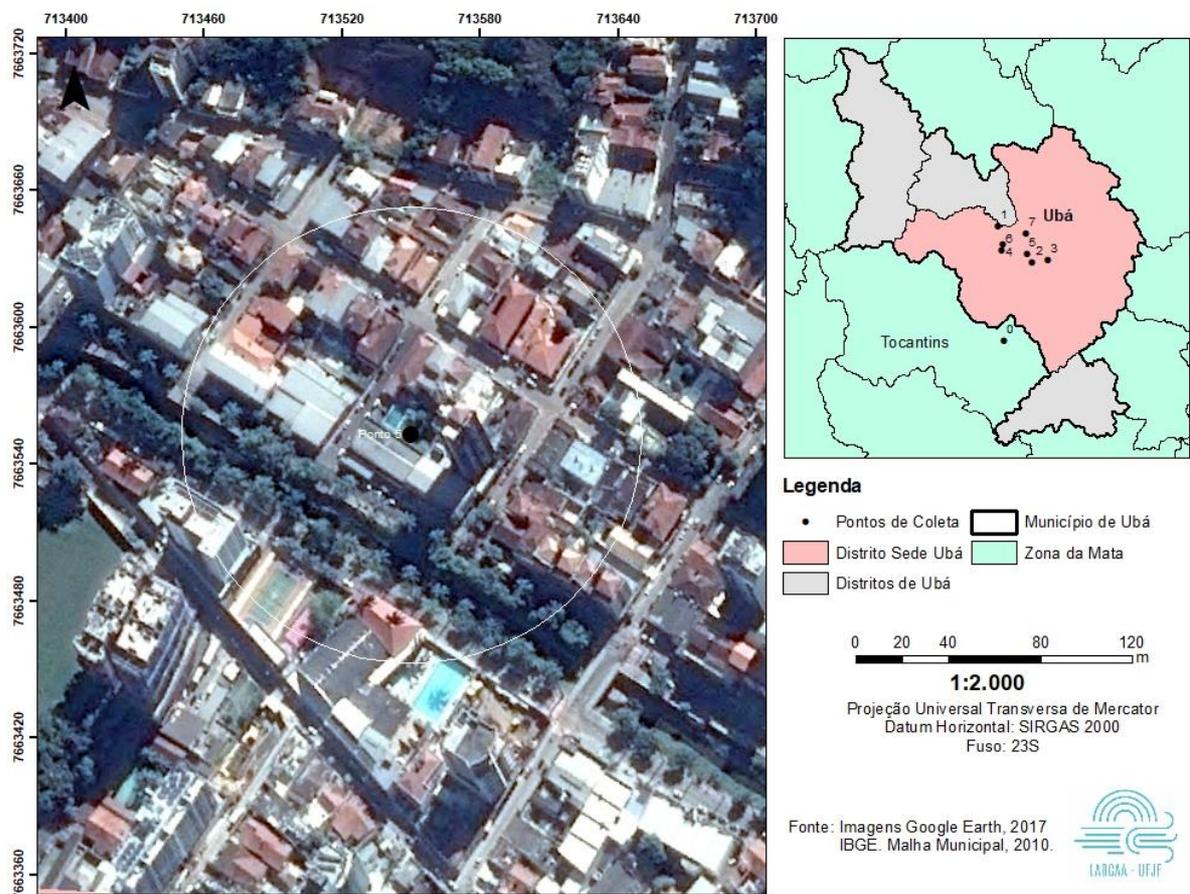
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

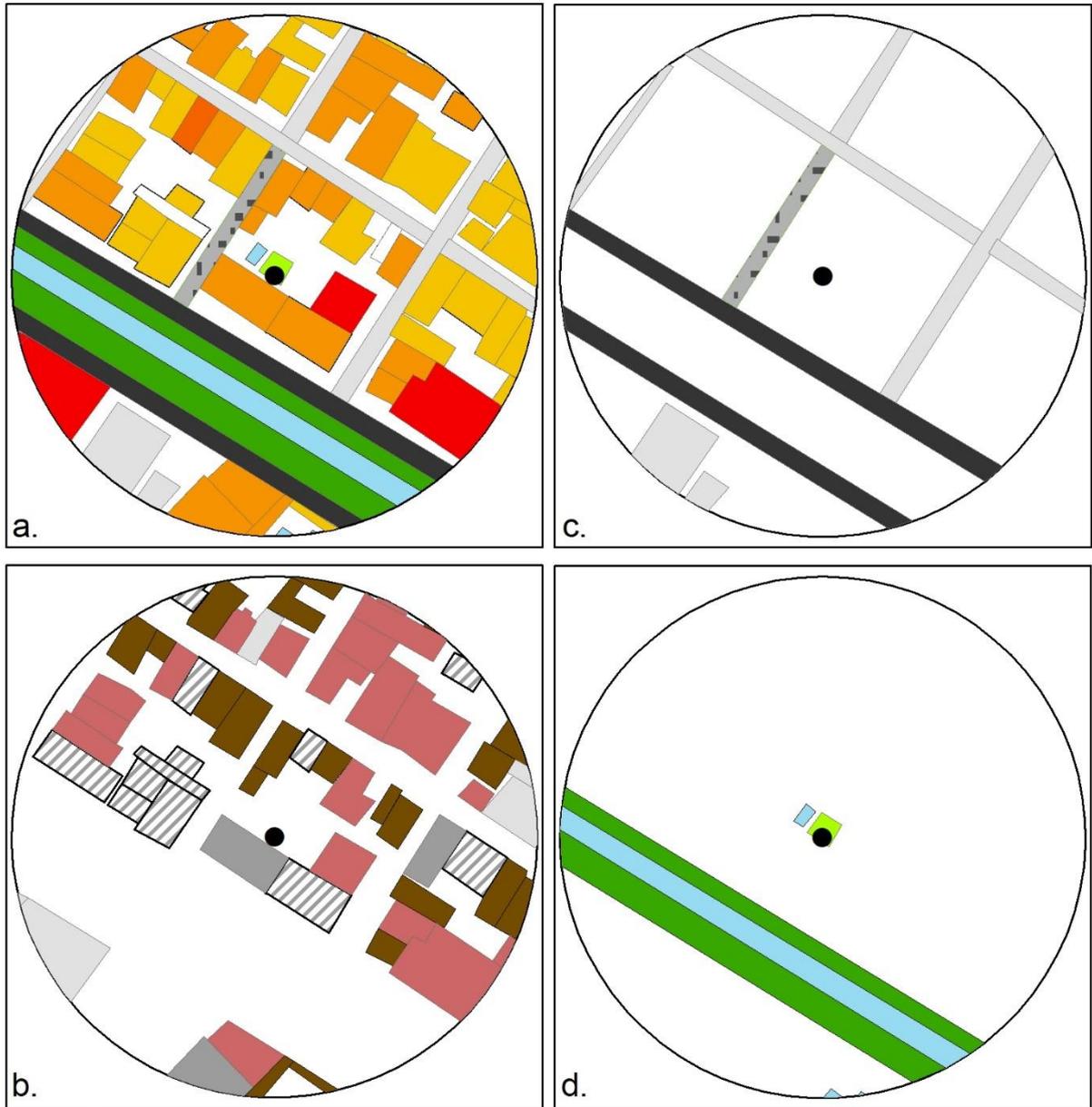
O ponto 5 (Mapa 19) fica na área central da cidade próximo ao ribeirão Ubá, principal curso d'água da região. Nessa área predominam uso residencial e comercial. As casas são de alto padrão com lotes maiores, é a área da cidade com maior verticalização possui alguns edifícios acima de 4 pavimentos. Seu percentual de área construída é 94,6%. As avenida Beira Rio e Dr. Jacintos Souza Lima que margeiam o curso d'água possuem vegetação viária o que gera sombreamento sobre parte das avenidas. Não há nenhuma praça próxima a esse ponto ou espaços livres, como opção de lazer há um clube privado com piscinas e quadras. A estação ficou alocada em uma residência em uma área de gramado próximo a uma piscina no local. A altitude 342m em vertente orientada a sudoeste quase plana com declividade na classe entre 0° e 6. Há 60 edificações nessa área: 8% possuem cobertura de laje, 3% de fibrocimento, 12% telha metálica, telha cerâmicas limpas 32% e telha cerâmicas sujas 35% conforme vemos no Mapa básico 20. Esse é o ponto mais verticalizado, tendo 1 edifício de 6 andares, 2 de onze e 1 de catorze andares, além de 29 edificações de 1 pavimento, 24 dois pavimentos e 1 três pavimentos.

Mapa 19 – Ponto 5



Fonte: Elaboração própria

Mapa 20 – Ponto 5 - Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5-14

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

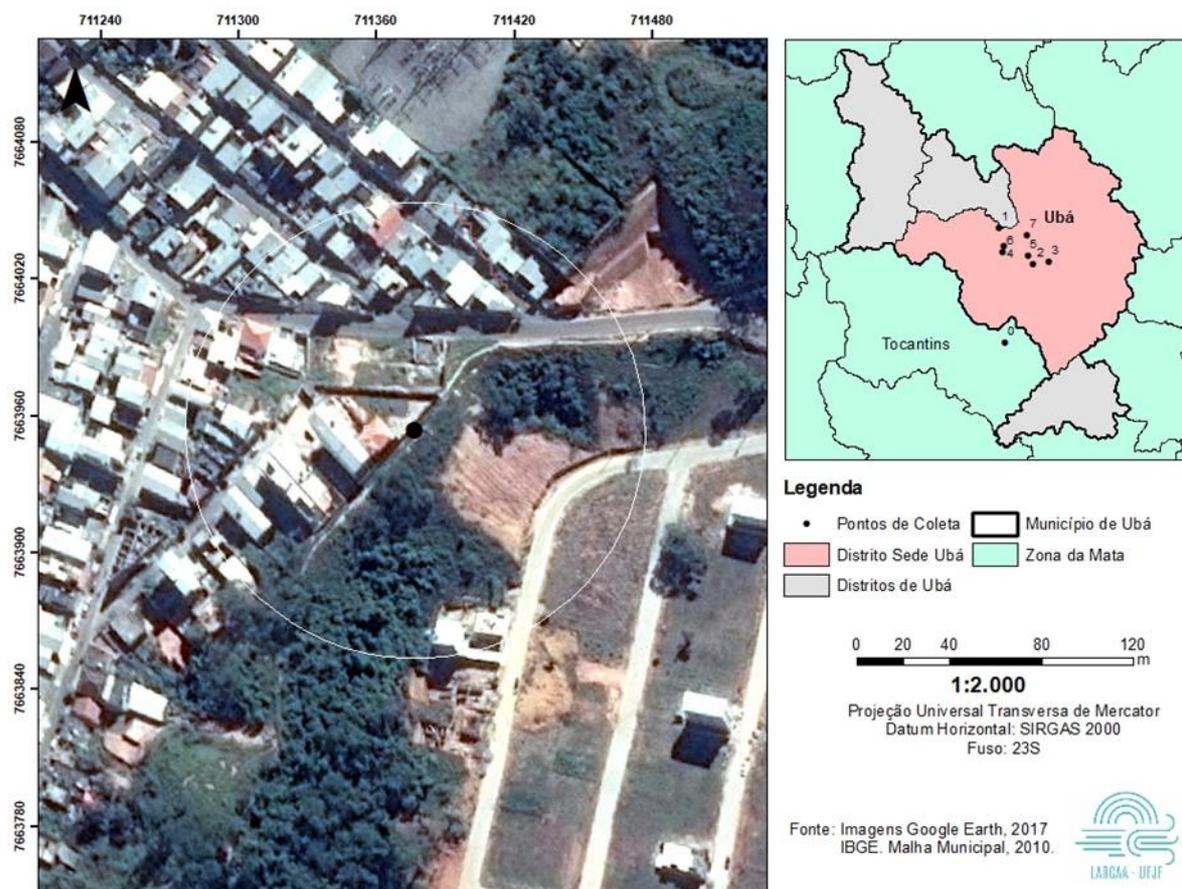
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

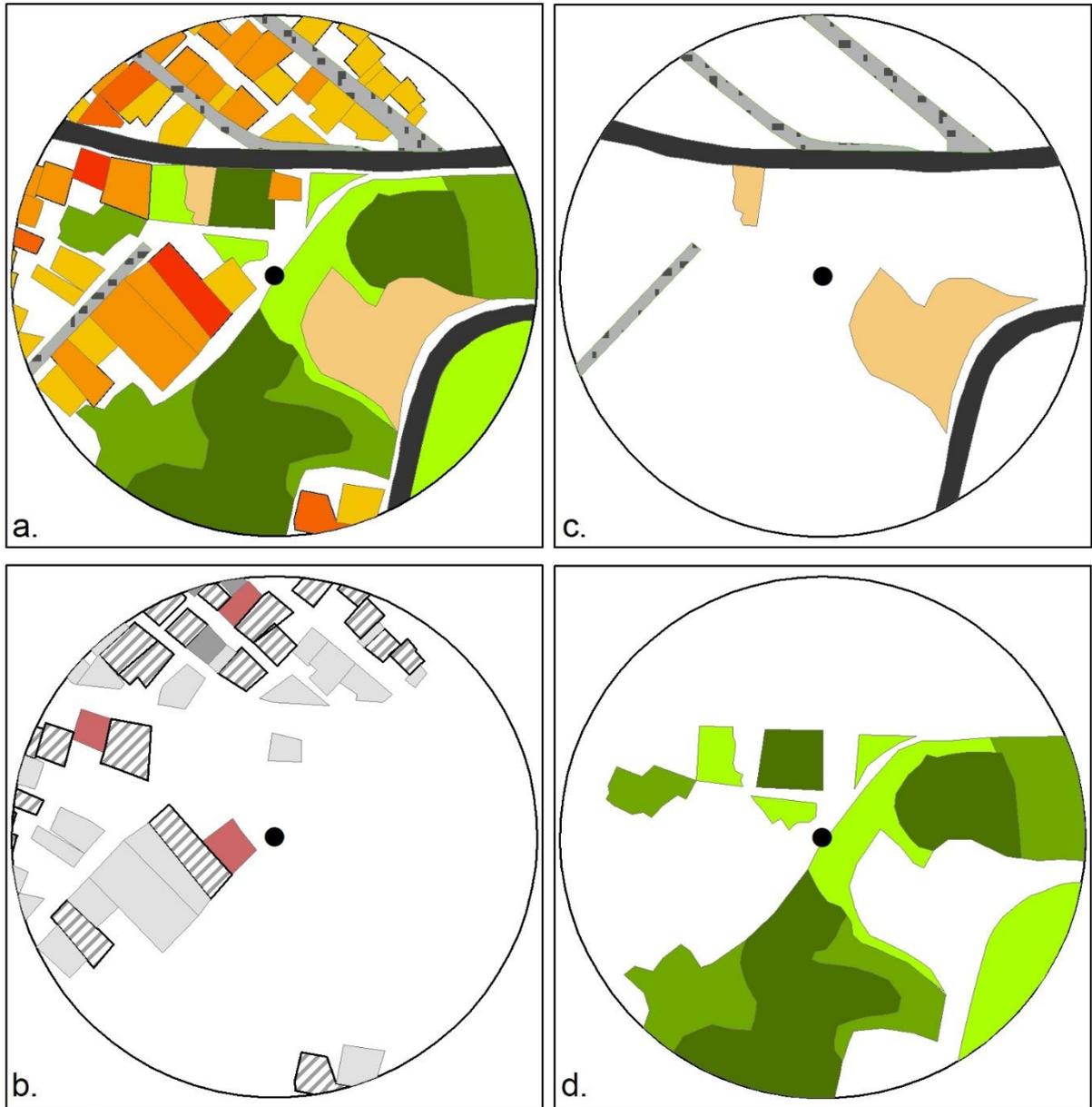
O ponto 6 (Mapa 21) fica numa área de ocupação mais recente da cidade no bairro Vale do Ipê. Parte da área apresenta lotes vagos e solo exposto pertencentes a um condomínio que foi construído irregularmente e posteriormente foi embargado pela prefeitura. Área é exclusivamente residencial, não havendo galpões industriais, os lotes são pequenos, com grande número de residências. Seu percentual de área construída é 49,9%. Esse ponto é o que tem a maior altitude 390m e a maior declividade está na classe de 15° a 30° com sua encosta voltada ao sul a estação foi colocada em uma área gramada no topo do morro. Essa localização tem objetivo de avaliar a influência do vento no resfriamento do ar. Nesse ponto, Mapa básico 22, Ocorrem apenas 50 construções, sendo 26 de 1 pavimento, 17 de dois andares, 4 de três andares e 2 de quatro andares. A maioria das coberturas são de telha metálica e laje com 44%, 6 cerâmicas novas e fibrocimento somam 6% cada.

Mapa 21 – Ponto 6



Fonte: Elaboração própria

Mapa 22 – Ponto 6 - Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5-14

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000
 Fuso: 23S

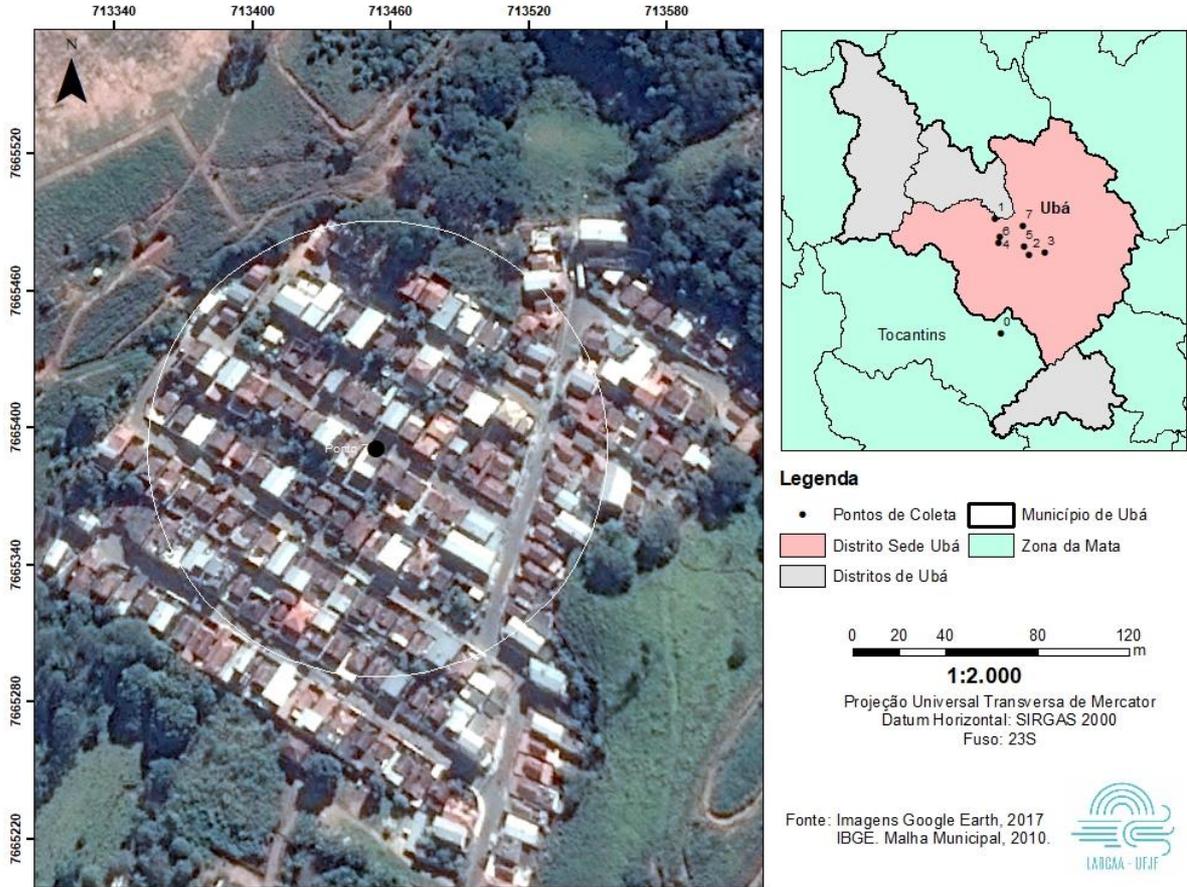
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

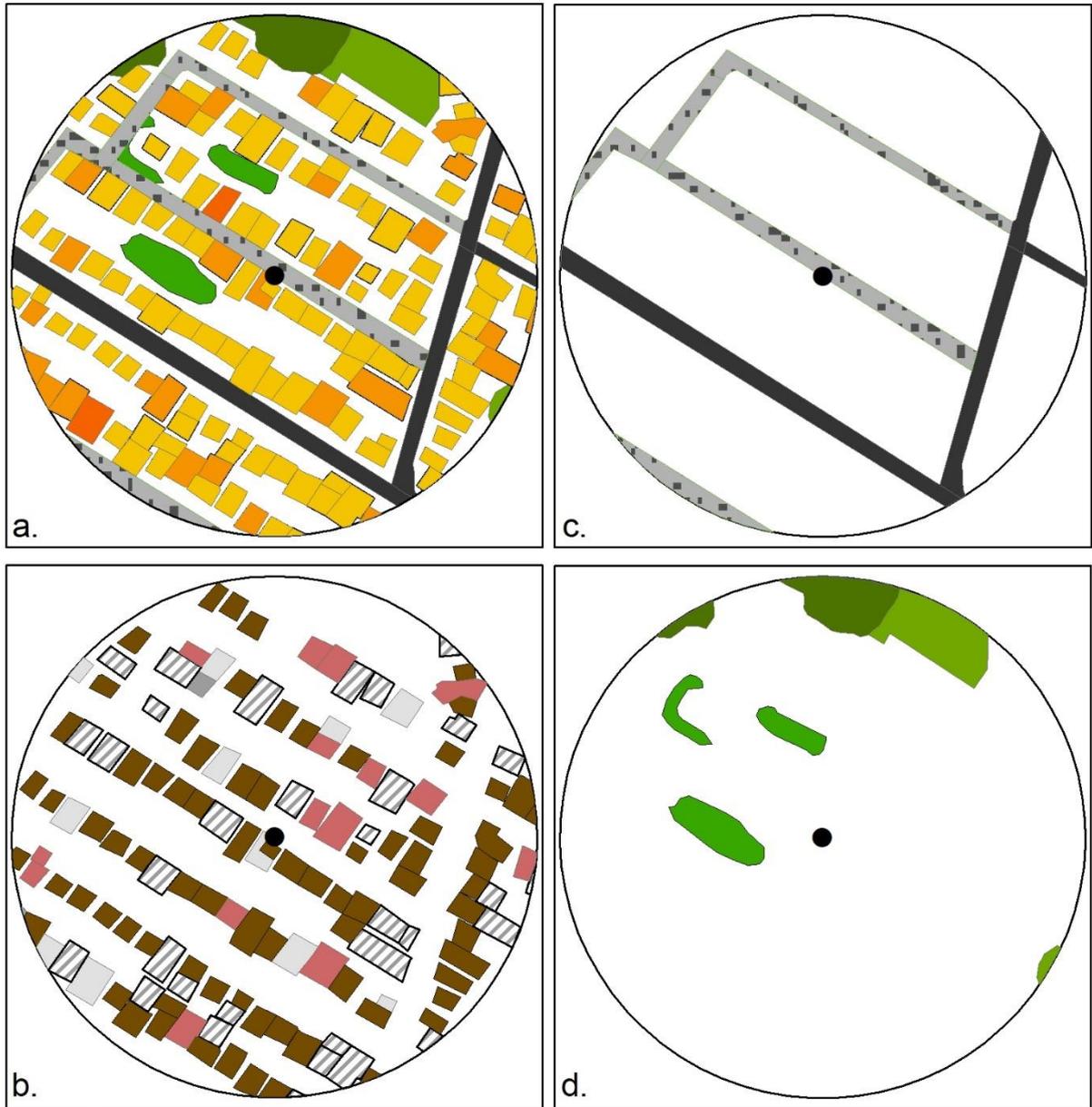
O ponto 7 (Mapa 23) foi colocado no bairro do Xangrilá, este bairro surgiu como um loteamento popular. Inicialmente todas as casas eram idênticas, com o passar do tempo estas sofreram algumas alterações e expansões, contudo na maioria ainda predominam as telhas cerâmicas escuras. Os lotes pequenos tem uma grande taxa de ocupação que foi ampliada com o passar do tempo pelos anexos feitos pelos moradores. Ao redor do loteamento que tem uso exclusivamente residencial ocorre alguma vegetação arbórea e lotes vagos com vegetação rasteira, algumas casas tem árvores nos fundos do terreno, mas as ruas não dispõem de vegetação viária. O bairro não conta com nenhuma área de lazer. Seu percentual de área construída é 92,4%. O ponto está a 388m de altitude, contudo diferentemente do ponto 6 está localizado na meia encosta, está voltado ao sul, com declividade baixa entre 6° e 15°. Esse é o ponto com maior número de edificações, com 140: 56% mantem cobertura original do loteamento, telha colonial, 11% telhas coloniais novas, 8% laje, 24% telhas metálicas e 1% fibrocimento, conforme vemos no Mapa 24. Muitas dessas edificações com tipos de coberturas diferentes da original são expansões das casas originais. Boa parte das casas 109, ainda mantém um pavimento, mas 29 delas tem dois andares e 3 possuem três andares.

Mapa 23 – Ponto 7



Fonte: Elaboração própria

Mapa 24 – Ponto 7 – Urbanização e vegetação



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- Não Identificado

a. Número de andares

- | | |
|-----|--------|
| □ 0 | □ 3 |
| □ 1 | □ 4 |
| □ 2 | □ 5-14 |

b. Tipo de Cobertura

- Fibrocimento
- Laje
- Telha colonial clara / limpa
- Telha colonial escura / suja
- Telha metálica

c. Tipo de Pavimento

- Asfalto
- Concreto
- Pedra
- Solo Exposto

d. Tipo de Vegetação

- Grama
- Vegetação Arbustiva
- Vegetação Arbórea
- Vegetação Viária
- Água



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

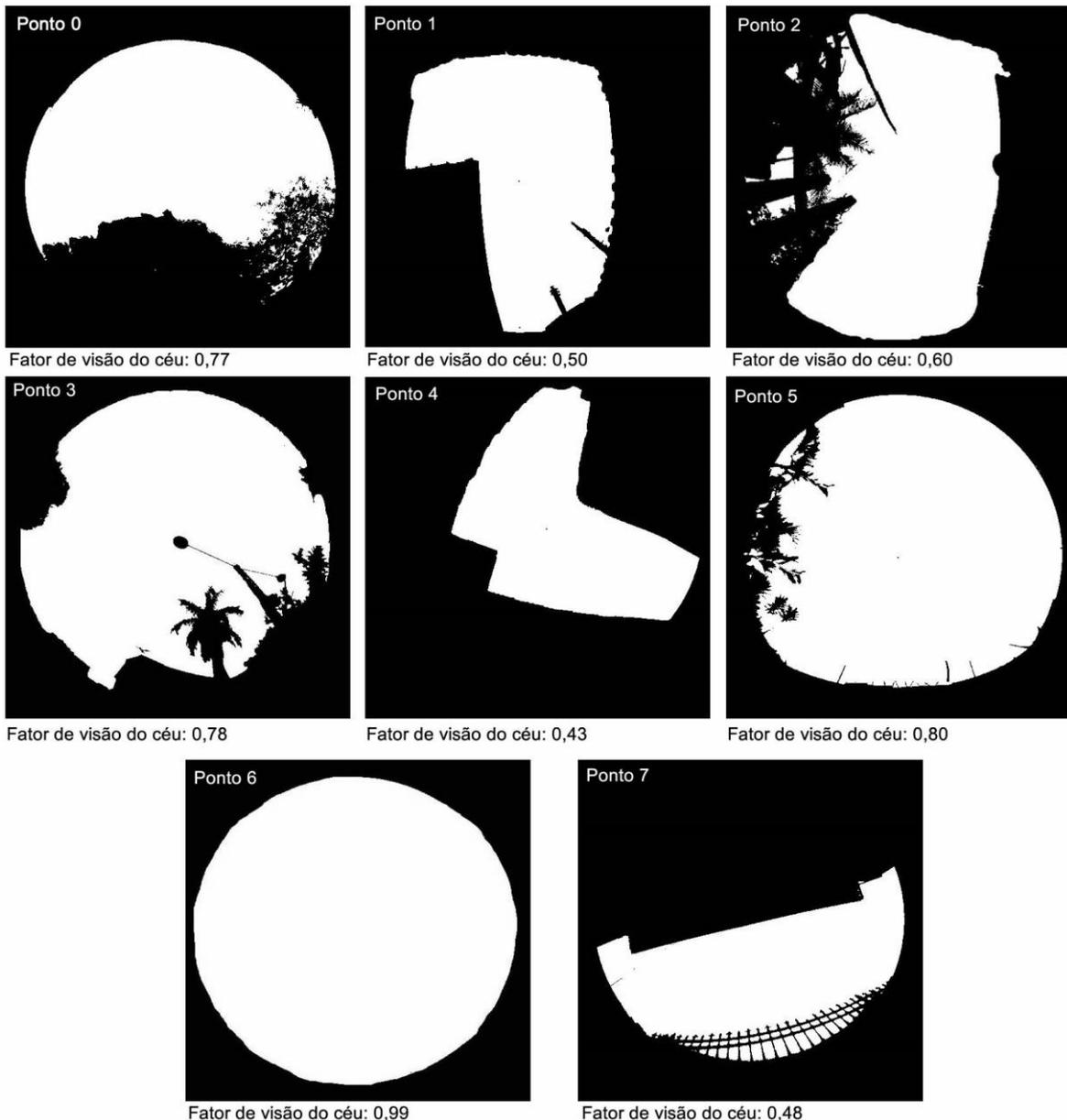
Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 15 tem-se o valor do fator de visão de cada ponto de coleta de dados. O fator de visão do céu é uma forma de representar a geometria urbana. Os pontos foram agrupados em 3 grupos: alto, médio e baixo. Os pontos 0,3, 5 e 6 possuem alto fator de visão do céu. O ponto 2 apresenta um fator de visão do céu médio. Os horizontes dos pontos 1, 4 e 7 são mais obstruídos por construções.

Figura 15 – Fator de visão do céu



Fonte: Elaboração própria

Os pontos com alta obstrução tendem a reter o calor em seu interior, superfícies e ar mais aquecidos que pontos mais abertos com maior fator de visão do céu. Porém em casos de alta obstrução recebem radiação direta um menor número

de horas por dia devido ao sombreamento, dependendo do grau de obstrução se tornam pontos mais frios durante o dia, são dois efeitos concorrentes entre si. Durante a noite o efeito sombreamento é eliminado, pontos com horizontes mais obstruídos, como os pontos 1,4 e 7 tem menor perda de energia, pois a radiação de ondas longas emitida nesses pontos acaba por encontrar com uma outra superfície no interior do cânion e ser armazenada como calor e por isso tornam-se pontos com maior temperatura do ar.

4.2 MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO

Os mapas básicos foram transformados em mapas temáticos¹⁸ representando variáveis importantes ao aquecimento do ar urbano, reclassificados e somados dando origem ao mapa síntese.

Nos Mapas 23, 24,25 e 26 temos o resultado do modelo de potencial térmico para os pontos de coleta. Os intervalos de 1-8 representam uma área com baixíssimo potencial de aquecimento, de 9-11 baixo, de 12-15 médio, de 16-18 alto e 19-22 altíssimo. Nessa modelagem foram agrupadas sete variáveis: albedo, emissividade, massa construída, vegetação, impermeabilização, topografia e fator de visão do céu.

As áreas de cobertura asfáltica ficam destacadas como alto potencial de aquecimento, representando bem suas características de baixo albedo e impermeabilização.

Superfícies vegetadas como esperado são modeladas como áreas de baixo potencial de aquecimento. Durante a fotossíntese e a respiração as plantas absorvem radiação, liberam vapor e resfriam o ar. Conforme Mascaró (1996) o sombreamento é uma das funções mais importantes da arborização, diminuição das temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações e conseqüentemente reduzindo o aquecimento do ar.

As classes de maior potencial de aquecimento são encontradas onde existem grandes edificações com grande número de pavimentos e conseqüentemente altos valores de massa construída. Sobretudo nas edificações com cobertura de telhas metálicas como os galpões industriais.

¹⁸ Os mapas temáticos estão no APÊNDICE I

Como pode ser observado no ponto 4 (Mapa 24) que possui uma concentração de galpões industriais na área. Por exemplo, o galpão com telhado convexo ao sul do ponto 4, recebeu peso 22 para aquecimento do ar. Pois foi dado o valor 3 pelo ponto 4 se localizar em uma área de baixo fator de visão do céu. Mais 2 por estar no fundo do vale em uma região com pouca circulação de ventos. Por ser uma superfície impermeável recebeu peso 5. Sendo uma superfície metálica reflexiva recebeu nota 2 para o seu albedo e 5 para emissividade. Devido as dimensões e altura recebeu peso 5 para massa construída. Não apresentando uma superfície vegetada ganhou 0 na variável vegetação. Somado esses valores chegou-se ao seu grau de influência no aquecimento do ar de 22 nessa área de abrangência do ponto 4.

Ao ordenar os pontos segundo o Potencial de Aquecimento Total - PAT (somatório do valor de potencial de aquecimento multiplicado pelo número de pixels com aquele valor de potencial de aquecimento do ar, (Equação 7), obtém-se a seguinte sequência do ponto de maior potencial de aquecimento para o de menor potencial: P1, P4, P5, P7, P3, P2, P6 e P0.

Os pontos com menor potencial de aquecimento P0, P6, P2 e P3 (Mapas 26, 25, 24 e 23) tem como característica comum estarem em áreas com grande índice de permeabilidade do solo, respectivamente 99,3%, 50,1%, 34,5% e 39,6%. Ao correlacionar os valores de permeabilidade do solo com a média de temperatura do ar noturno obtivemos uma correlação de -0,951. Isto é, quanto menor a permeabilidade do solo maior a temperatura do ar noturno ou quanto maior a impermeabilidade do solo maior a temperatura do ar. Os pontos de permeabilidade nessas áreas são cobertos por vegetação, ou seja, áreas modeladas como de baixo potencial de aquecimento. Esses pontos tem em comum também um grande fator de visão do céu (Figura 15).

Os pontos com maior aquecimento são aqueles com elevada impermeabilização do solo e elevado número de construções. A importância de áreas verdes e conseqüentemente maior permeabilidade do solo vai além de seu comportamento térmico. Essas áreas permitem maior infiltração da água de precipitações, diminuindo o escoamento superficial, recarregando o lençol freático, reduzindo o risco de inundações e quando em alta declividade reduzindo riscos de deslizamento. Por esse duplo benefício são áreas extremamente importantes no ambiente urbano.

O ponto 1 e 7 (mapas 23 e 26) tem como características comuns grande parcelamento do solo urbano e um adensamento de residências. No ponto 7 predominam casas 1 pavimento com pequenos quintais nos fundos, sendo 6,9% da área coberta por asfalto. No ponto 1, as casas não possuem quintais nos fundos. Além disso, um maior número de vias cortam essa área, sendo estas mais largas que as vias no ponto 2 e 3 por exemplo, com pavimentação total de asfalto em 12,5% da área. No ponto 7 por ser um loteamento originalmente planejado predominam coberturas cerâmicas (atualmente escurecidas pelo tempo) enquanto no ponto 1 um predominam coberturas metálicas, que comparativamente contribuem para um maior aquecimento do ar urbano. Por essas características de alto adensamento, predomínio do uso de cobertura metálica e grande área com pavimentação asfáltica o ponto 1 é o ponto com maior potencial de aquecimento do ar.

O ponto 4 (Mapa 24) se caracteriza pela presença de muitos galpões industriais de grande dimensão com uso de coberturas metálicas. Ao norte do ponto encontra-se a maior fábrica da cidade com 85.000 m² de área construída (Itatiaia, 2018). O ponto 4 também possui uma vasta cobertura de asfalto 13,8% da área. O uso de coberturas metálicas e pavimentação asfáltica são importantes componentes para aquecimento do ar.

O ponto 5 (Mapa 25) se localiza em uma área central da cidade com um menor parcelamento do solo, i.e., menor número de lotes. Dos pontos analisados é o com maior verticalização, o que cria focos de alto potencial de aquecimento do ar. Predomina o uso de cobertura de cerâmica em 67% da área característica de elevado padrão construtivo visto que esse tipo de cobertura tem um maior custo de construção. Do total da área apenas 8% é coberto por asfalto, nesse ponto predomina o uso dos bloquetes de concreto para calçamento das vias, esse tipo de pavimento tem médio potencial de aquecimento do ar.

Apesar do ponto 5 ser um ponto central seu potencial de aquecimento do ar é menor do que o ponto 1, que se localiza na periferia da cidade. Isso evidencia que o padrão de urbanização e o padrão térmico dele derivado em Ubá, e em outras cidades pequenas e médias, pode se distanciar do modelo básico de ilha de calor proposto por Oke (1987) onde as maiores temperaturas são encontradas no centro urbano e as menores nos subúrbios. A cidade de Ubá não possui um centro desenvolvido e amplamente verticalizado como o modelo americano e canadense de

cidade, entretanto sua periferia é muito adensada e pouco arborizada em comparação com o descrito pelo autor na classificação zonas climáticas urbanas (Figura 9).

O modelo se destacou por facilitar a integração das variáveis que podem apresentar baixo ou elevado potencial para o aquecimento do ar em uma dada região. Dessa forma permite uma intervenção de forma precisa com a finalidade mitigar o aquecimento em uma área. Além disso possui viabilidade de ser replicado em outras realidades urbanas

Mapa 23 – Mapa de Potencial Térmico – Ponto 1 e 2

Ponto 1

Ponto 2



Legenda

- Ponto de coleta
- Raio 100 m

Potencial de Aquecimento

- Baixíssimo potencial de aquecimento
- Baixo potencial de aquecimento
- Médio potencial de aquecimento
- Alto potencial de aquecimento
- Altíssimo potencial de aquecimento



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017

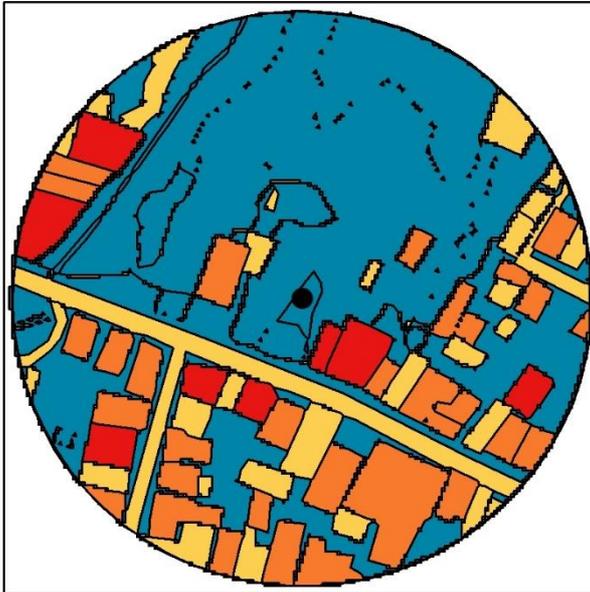


Fonte: Elaboração própria.

Mapa 24 – Mapa de Potencial Térmico – Ponto 3 e 4

Ponto 3

Ponto 4



Legenda

- Ponto de coleta
- Raio 100 m

Potencial de Aquecimento

- Baixíssimo potencial de aquecimento
- Baixo potencial de aquecimento
- Médio potencial de aquecimento
- Alto potencial de aquecimento
- Altíssimo potencial de aquecimento



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S



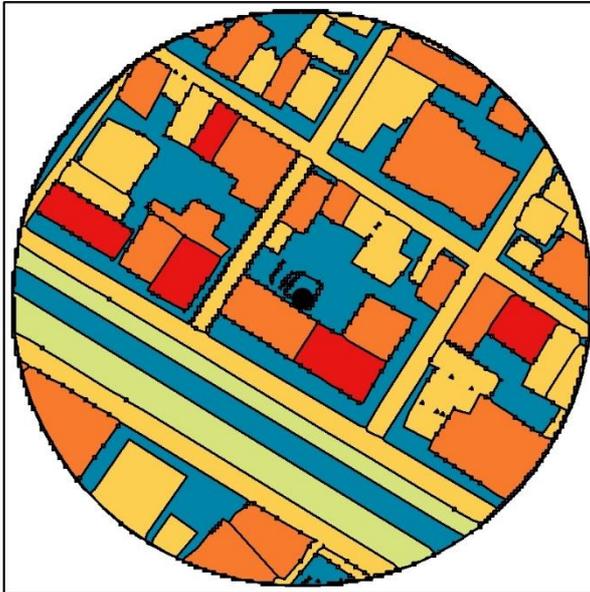
Fonte: Imagens Google Earth, 2017

Fonte: Elaboração própria

Mapa 25 – Mapa de Potencial Térmico – Ponto 5 e 6

Ponto 5

Ponto 6



Legenda

- Ponto de coleta
- Raio 100 m

Potencial de Aquecimento

- Baixíssimo potencial de aquecimento
- Baixo potencial de aquecimento
- Médio potencial de aquecimento
- Alto potencial de aquecimento
- Altíssimo potencial de aquecimento



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S



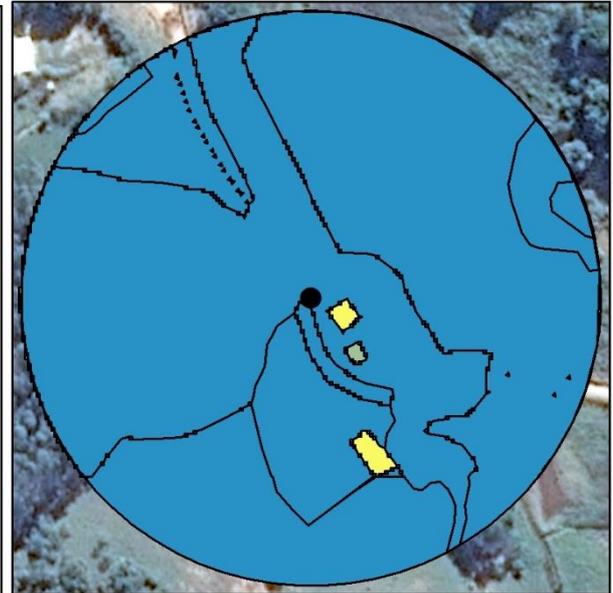
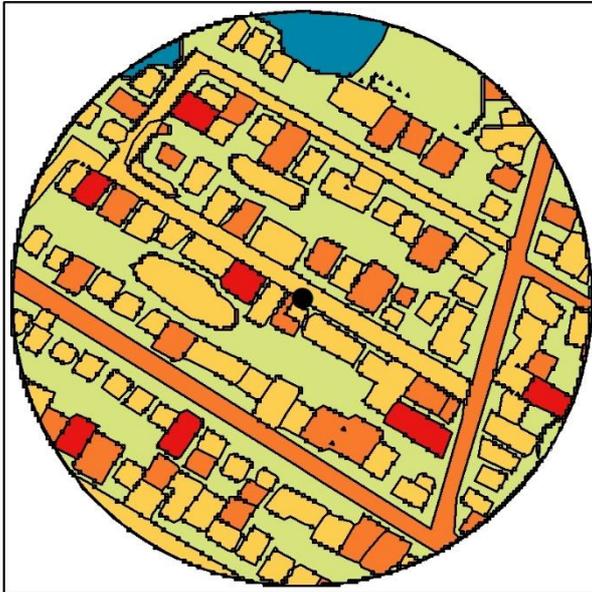
Fonte: Imagens Google Earth, 2017

Fonte: Elaboração própria

Mapa 26 – Mapa de Potencial Térmico – Ponto 7 e 0

Ponto 7

Ponto 0 (Rural)



Legenda

- Ponto de coleta
- Raio 100 m

Potencial de Aquecimento

- Baixíssimo potencial de aquecimento
- Baixo potencial de aquecimento
- Médio potencial de aquecimento
- Alto potencial de aquecimento
- Altíssimo potencial de aquecimento



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

4.3 SISTEMAS ATUANTES DURANTE O PERÍODO DE LEVANTAMENTO DE CAMPO

Para um melhor entendimento dos valores de temperatura do ar nos diferentes micro climas urbanos precisa-se entender o comportamento atmosférico geral durante o período de coleta dos dados. Mudanças nas condições regionais atmosféricas, por serem de hierarquia superior, são altamente influentes para o comportamento do sistema clima urbano.

Considerando a sucessão habitual diária dos tipos de tempo, os sistemas sinóticos mais atuantes no período de coleta dos dados foram: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as Linhas de Instabilidade (LI), os Sistemas Frontais, a Massa Tropical Atlântica (mTa) e a Massa Polar Atlântica (mPa). Seu encadeamento está apresentado na Quadro 10. Há um predomínio no período da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) com atuação em 13 dias, depois a Massa Tropical Atlântica (mTa) com atuação em 10 dias, 13 dias foram influenciados pelas linhas de instabilidade, 3 dias de chegadas de frentes e 4 dias de atuação do sistema Polar.

Conforme Oliveira (2016) a influência que tais mecanismos exercem na gênese das chuvas estão relacionados ao local de origem, características de origem e trajetórias dos mesmos:

A mTa tem origem no anticiclone semi-fixo do Atlântico sul. Suas características são elevada temperatura e umidade (limitada a camada superficial) e estabilidade do tempo com pouca formação de nebulosidade e baixa intensidade dos ventos.

A mPa tem origem no Anticiclones polar do Atlântico e Antártica e Baquisa Fixa. Inicialmente seca, fria e estável. Durante sua trajetória absorve calor e umidade e torna-se instável. Declínio da temperatura.

Os mecanismos que originam e mantêm a ZCAS não estão totalmente definidos, mas resulta de interações entre sistemas frontais e a convecção tropical. Banda de nebulosidade de orientação Noroeste – Sudeste, atua no verão na América do sul.

LI tem origem em áreas de depressão barométrica, entre os estados do Pará e do Amazonas. As características são Ar em convergência, formação de série de nuvens cumulo-nimbus alinhadas que se deslocam uniformemente. Ocasiona tempos severos como: granizo, tempestades, ventos fortes, outros; É um tipo de perturbação atmosférica;

Frente Fria deslocamento das massas de ar. Importante perturbação atmosférica; Aumenta a temperatura quando chega e provoca queda quando está atuando. Sua chegada provoca chuvas mais intensas. Se estacionária ocasiona chuvas calmas e continuas.

A mTa se caracteriza pela estabilidade do tempo com pouca formação de nebulosidade e baixos ventos, sob essas condições que geraram os maiores gradientes térmicos em Ubá.

Quadro 10 – Sistemas sinóticos atuantes Janeiro-Fevereiro de 2018

JANEIRO														
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
mTa	mTa	mTa	mTa	LI	LI	mTa	mTa	mTa	LI	LI	LI	LI	ZCAS	ZCAS
FEVEREIRO														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ZCAS	ZCAS	ZCAS	ZCAS	ZCAS	ZCAS	ZCAS	LI	LI	LI	mTa	mTa	mTa	F	mPa
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
mPa	LI	F	mPa	mPa	F	ZCAS	ZCAS	ZCAS	ZCAS	LI	LI			

Fonte: Elaboração própria a partir das cartas sinóticas da Marinha.

A atuação da ZCAS nesse período é uma dos principais responsáveis pelas precipitações ocorridas no verão. A ocorrência de precipitação é um fenômeno que propicia a homogeneidade das temperaturas do ar e das superfícies urbanas e em alguns momentos pode tornar o ar urbano até mais frio que o ar rural.

O quadro 11 mostra a ocorrência de precipitação no período para dois postos de coleta do CEMADEN. Nesses 43 dias de coleta, em 23 dias ocorreram precipitações. Nos dias 30 e 31 de janeiro e entre 5, 6, 7, 24 e 27 de fevereiro chuvas com maior volume e abrangendo os dois pontos de coleta. Nos outros 17 dias ocorreram chuvas de intensidade fraca e/ou mais localizadas abrangendo apenas um dos pontos.

Quadro 11 – Precipitação em Ubá nos meses de janeiro e fevereiro

Data	Jardim Primavera	Otacílio Coutinho	Data	Jardim Primavera	Otacílio Coutinho	Data	Jardim Primavera	Otacílio Coutinho
17/01/2018	0	0	01/02/2018	5,8	0	16/02/2018	0	0
18/01/2018	0	0	02/02/2018	0	0	17/02/2018	0	0
19/01/2018	0	0	03/02/2018	0	0	18/02/2018	4,99	0
20/01/2018	0	0	04/02/2018	1,6	2,8	19/02/2018	4,6	11,1
21/01/2018	0	0	05/02/2018	16,6	32,86	20/02/2018	3,4	2
22/01/2018	0,2	0,2	06/02/2018	31,84	40,3	21/02/2018	1	1
23/01/2018	4,97	4,52	07/02/2018	16,6	9,58	22/02/2018	2,6	4
24/01/2018	0	0	08/02/2018	16,4	0,2	23/02/2018	0	0,39
25/01/2018	0	0	09/02/2018	2,8	0	24/02/2018	20,68	33,09
26/01/2018	0	0	10/02/2018	0	0	25/02/2018	0,4	1,8
27/01/2018	0	0	11/02/2018	0	0	26/02/2018	1,8	5,73
28/01/2018	0	0	12/02/2018	0	0	27/02/2018	10,38	5,98
29/01/2018	1,4	2,37	13/02/2018	0	0	28/02/2018	4,6	8,72
30/01/2018	9,35	24,56	14/02/2018	0	0	Total Jan.	52,47	60
31/01/2018	36,55	28,35	15/02/2018	0	0	Total Fev.	146,09	159,55

Fonte: CEMADEN

4.4 DADOS TEMPERATURA DO AR

Conforme descrito na metodologia os abrigos usados com os termógrafos não conseguem isolar perfeitamente a radiação incidente nos mesmos. Por isso os valores de temperatura do ar são influenciados também pelo aquecimento e irradiação do material do abrigo. Contudo, dado que todos abrigos sofrem o mesmo erro ao comparar os dados relativamente entre eles, na média seus valores são confiáveis, pontualmente entretanto a diferença de nebulosidade e logo sombreamento entre dois pontos pode levar a uma grande diferença na temperatura do ar e uma distorção dos resultados, que refletiriam uma condição atmosférica momentânea e não uma diferença entre uso e ocupação e outros fatores naturais. Por isso deve se ler com ressalvas os resultados diurnos apresentados em seguida. Os dados noturnos apresentam maior confiabilidade por eliminar o problema da radiação solar e por isso nessa análise terão maior destaque neste trabalho.

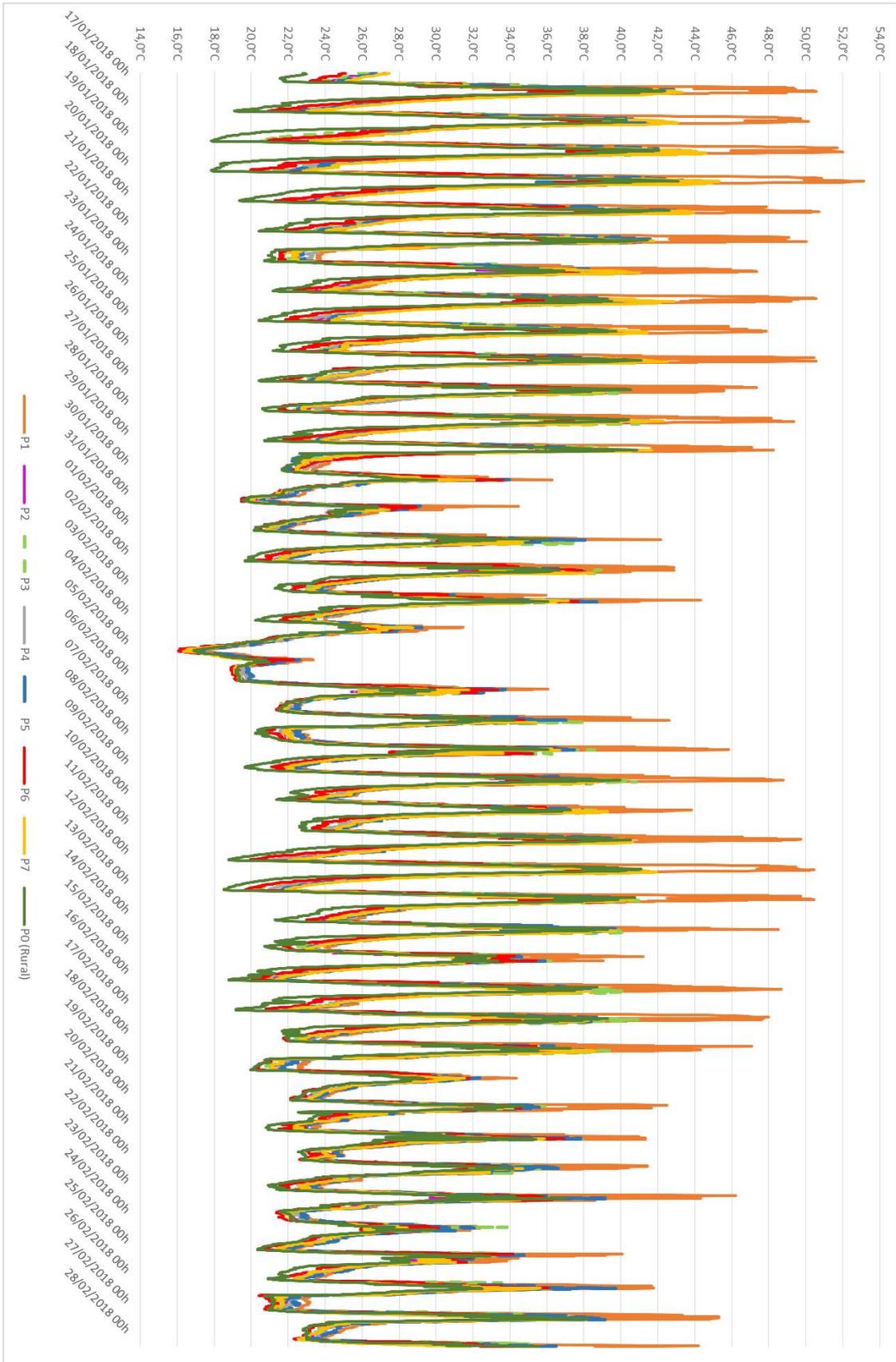
Além disso o ponto 1 foi descartado na análise diurna, pois apresentou valores extremamente altos durante o dia, provavelmente devido ao reflexo da radiação no piso de cerâmica onde o sensor estava posicionado, pois em testes posteriores não foi constatado nenhum problema com o equipamento.

O Gráfico 5 apresenta todas as temperaturas do ar registradas do dia 17 de janeiro até a tarde do 28 de fevereiro. Nele é possível identificar os picos de temperaturas desproporcionais do Ponto 1 durante o período diurno o que ocasionou

sua exclusão das análises futuras diurnas. Além disso, destaca-se como a amplitude térmica em dias de atuação da mTa é maior¹⁹, pois devido à ausência de nuvens ocorre grande aquecimento durante o dia e grande resfriamento durante a noite. Enquanto sob condições de atuação da ZCAS com grande nebulosidade e presença de precipitação a amplitude diária é pequena, pois apresenta menor aquecimento diurno e maior retenção do calor no período noturno.

¹⁹ Dado problema de isolamento dos abrigos durante o dia os picos de temperatura estão exagerados em relação ao que o efetivamente ocorreriam em dias com alta insolação. Quando tem-se alta nebulosidade os valores são bem próximos a realidade

Gráfico 5 – Temperatura do ar de 17/01 – 28/02



Fonte: Elaboração própria.

4.4.1 Dados Noturnos

O quadro 2 mostra a diferença máxima entre temperatura do ar dos pontos urbanos em relação ao ponto rural e o horário habitual de ocorrência no período noturno. A média mostrada no quadro é a média das máximas diárias.

As maiores diferenças de temperatura do ar entre os dois ambientes foram sob atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), isso ocorreu para todos os pontos. A maior diferença registrada nesse trabalho foi de 8,4°C na noite do dia 18 de janeiro à meia-noite no ponto 7, que tem como característica ser uma área de um loteamento popular com grande adensamento. Nesse dia o sol se pôs às 19h58min no horário de verão, ou seja, a intensidade máxima foi 4h após o pôr do sol.

Contudo analisando os dados do período todo de coleta e utilizando a moda como estatística, vemos que as maiores intensidades diárias foram registradas entre as 20h-21h para os pontos P1, P2, P4, P5 e P6, ou seja, em até uma hora e meia depois do pôr do sol (19h30 sendo o valor médio do pôr do sol adotado para o período). O ponto P3 registrou a sua máxima diferença de temperatura do ar em relação ao ar rural um maior número de vezes próximo ao horário do pôr do sol. Quando analisado restrito à atuação da Massa Tropical Atlântica o horário de ocorrência do pico de temperatura do ar em relação ao ar rural, sendo entre 22h e 23h, o que é mais condizente com a bibliografia sobre o fenômeno (Quadro 12).

O ponto 7 registrou seu pico de temperatura do ar entre 21h-22h, aproximadamente 2h após o pôr do sol. Essas maiores diferenças como a do dia 18 de janeiro apesar de ser episódica, se manifesta em meio a tendências gerais de maior aquecimento urbano, reflexo principalmente das características de uso da terra (Quadro 12). Este ponto é habitualmente mais quente que a zona rural sob atuação de qualquer sistema meteorológico.

Durante o período da análise do total de 42 noites o ponto 1 que se caracteriza por ser um bairro residencial com grande adensamento e impermeabilização registrou as maiores temperaturas em 24 noites, ou seja em 57% das noites, principalmente em noites sob atuação da ZCAS. O ponto 7 que é um loteamento popular com altíssima impermeabilização registrou em 12 noites, ou seja, em 29% do período. O ponto 7 foi o mais quente principalmente sob atuação da mTa, dos 10 dias que o sistema atuou na região em 9 ele foi o ponto mais quente, em apenas na noite do dia 23 de janeiro o pico de diferença do ar urbano para o rural se deu no ponto 1 (Quadro 12).

Quadro 12 – Diferença máxima da temperatura do ar noturno Urbano - Rural

Sistema atuante	RURAL-URBANO														
	Data	P1-PO (Rural)		P2- PO (Rural)		P3- PO (Rural)		P4- PO (Rural)		P5- PO (Rural)		P6- PO (Rural)		P7- PO (Rural)	
		Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Máxima
mTa	17/01/2018	22	5,6	22	4,8	22	4,4	22	4,5	22	5,4	0	3,5	21	6,1
mTa	18/01/2018	23	7,6	0	6,2	22	6,1	2	8,1	1	6,6	1	6,9	0	8,4
mTa	19/01/2018	20	7,4	20	6,4	20	6,9	20	6,1	20	7,2	20	6,7	20	8,1
mTa	20/01/2018	20	6,2	23	5,7	22	5,6	20	5,5	22	5,9	23	4,4	21	6,8
LI	21/01/2018	21	5,6	21	4,1	21	3,7	19	5,0	21	4,6	0	2,7	21	5,7
LI	22/01/2018	20	4,6	19	3,0	20	2,6	19	4,7	20	2,9	20	1,6	20	3,9
mTa	23/01/2018	20	4,8	21	3,5	20	3,6	20	4,3	21	4,1	20	3,2	21	4,4
mTa	24/01/2018	21	5,7	22	3,9	21	3,3	20	5,6	21	5,1	20	3,7	21	6,2
mTa	25/01/2018	20	5,5	20	4,4	21	3,9	19	5,2	20	5,0	19	3,2	20	5,8
LI	26/01/2018	5	3,7	6	2,7	5	2,1	4	3,1	6	2,7	5	1,4	6	3,0
LI	27/01/2018	5	3,5	5	2,5	19	2,4	19	3,8	6	2,1	5	1,1	19	2,5
LI	28/01/2018	20	5,4	23	5,0	0	3,5	20	5,0	21	4,7	21	2,9	21	5,3
LI	29/01/2018	21	3,1	19	1,3	19	0,6	20	2,8	2	0,6	19	3,4	21	1,7
ZCAS	30/01/2018	3	2,1	3	1,0	20	0,5	3	1,5	3	1,5	3	0,4	3	0,7
ZCAS	31/01/2018	5	1,8	4	1,0	4	1	4	1,2	4	1,5	4	0,3	22	0,9
ZCAS	01/02/2018	21	3,2	21	2,4	19	2,8	21	2,8	22	3,1	21	1,6	22	2,7
ZCAS	02/02/2018	20	3,8	20	3,0	20	3,4	20	3,4	20	3,6	20	2,3	20	3,5
ZCAS	03/02/2018	20	3,5	19	2,3	20	2,5	20	3,6	20	3,0	20	1,9	20	3,1
ZCAS	04/02/2018	2	1,5	2	0,8	19	0,7	19	1,4	2	1,3	2	0,2	19	0,7
ZCAS	05/02/2018	6	0,7	6	0,3	19	0,3	19	0,6	3	0,8	23	-0,1	1	0,1
ZCAS	06/02/2018	19	1,6	20	0,8	20	1,3	19	1,1	19	1,8	19	0,8	19	1,4
ZCAS	07/02/2018	20	3,9	20	2,7	20	3,4	20	2,9	20	3,3	19	1,8	20	3,4
LI	08/02/2018	20	3,4	21	2,6	23	2,8	20	2,4	21	3,6	20	2,0	21	3,0
LI	09/02/2018	20	4,3	1	2,9	1	3	20	3,7	21	3,8	20	3,4	20	3,8
LI	10/02/2018	20	4,1	21	2,7	19	3,8	19	3,0	20	3,9	19	2,5	20	3,8
mTa	11/02/2018	20	5,3	23	4,7	20	4,4	20	4,4	23	5,3	20	3,2	21	5,4
mTa	12/02/2018	19	6,3	20	5,1	22	3,8	20	4,7	20	5,8	19	3,6	20	6,5
mTa	13/02/2018	22	4,7	22	3,8	22	4	22	4,2	21	4,3	22	2,8	20	4,8
F	14/02/2018	21	5,6	21	4,4	19	4,2	21	6,0	21	5,1	20	3,8	21	5,5
mPa	15/02/2018	21	4,5	22	3,6	21	4,2	20	3,7	22	4,2	21	2,8	21	4,5
mPa	16/02/2018	20	5,6	21	5,4	21	4,6	19	4,8	21	5,8	21	4,1	21	6,1
LI	17/02/2018	20	5,5	22	4,2	22	4,4	23	5,1	20	4,8	22	3,3	21	5,0
F	18/02/2018	19	4,8	20	3,3	19	4,3	20	4,0	20	4,0	19	2,4	19	4,0
mPa	19/02/2018	21	1,7	21	1,0	20	1,3	3	1,0	20	1,6	22	0,3	20	1,2
mPa	20/02/2018	19	3,0	20	1,4	19	2,2	4	2,0	20	2,4	4	1,9	19	2,3
F	21/02/2018	20	2,5	19	1,5	19	1,8	20	1,5	20	2,3	2	1,5	19	1,9
ZCAS	22/02/2018	23	3,1	2	1,9	23	2,2	21	1,9	2	2,6	23	1,2	23	2,1
ZCAS	23/02/2018	20	2,9	19	1,7	19	2,3	20	2,5	20	2,6	21	1,0	19	2,3
ZCAS	24/02/2018	3	2,3	0	1,3	19	1,6	2	1,2	22	2,1	23	0,7	0	1,3
ZCAS	25/02/2018	20	3,5	23	2,6	23	3,1	23	2,2	20	3,4	20	1,6	20	2,8
LI	26/02/2018	20	2,3	20	1,4	20	1,2	20	1,7	20	1,6	1	0,3	20	1,0
LI	27/02/2018	20	2,6	19	0,9	19	1,2	19	1,5	19	1,7	19	0,4	19	1,2
	Média		4,0		3,0		3,0		3,4		3,5		2,3		3,6
	Moda/Máx.	20h	7,6	20h	6,4	19h	6,9	20h	8,1	20h	7,2	20h	6,9	21h	8,4
	Máximo mTa	20h	7,6	22h	6,4	20h	6,9	20h	8,1	20h	7,2	20h	6,9	21h	8,4
	Média mTa		5,9		4,9		4,6		5,3		5,5		4,1		6,2
	Máximo ZCAS	20h	3,9	20h	3,0	20h	3,4	20h	3,6	20h	3,6	20h	2,3	20h	3,5
	Média ZCAS		2,6		1,7		1,9		2,0		2,4		1,0		1,9
	Máximo mPa		5,6		5,4		4,6		4,8		5,8		4,1		6,1
	Média mPa		3,7		2,9		3,1		2,9		3,5		2,3		3,5
	Máximo LI		5,6		5,0		4,4		5,1		4,8		3,4		5,7
	Média LI		4,0		2,8		2,6		3,5		3,1		2,1		3,3
	Média F		4,3		3,0		3,4		3,8		3,8		2,6		3,8
	Máx. F		5,6		4,4		4,3		6,0		5,1		3,8		5,5

Fonte: Elaboração própria.

Analisando o comportamento térmico sob atuação da Massa Tropical Atlântica, no período todos pontos registraram um maior aquecimento se comparado ao ponto rural. As características desse sistema de alta pressão são a estabilidade do tempo com pouca nebulosidade e poucos ventos o que favorece a formação das ilhas

de calor. Em média à noite o do ar noturno ficou entre 4°C e 6°C graus em comparação com a zona rural. O ponto 7 registrou em média um aquecimento de 6,2°C. O ponto 6 foi o que registrou menor aquecimento, por ser um ponto no topo de morro, que dado a ausência de barreiras a circulação dos ventos favoreceram maiores perdas de calor por convecção, sua média foi de 4,1°C. As maiores médias de aquecimento sob condições de atuação da mTa foram no Ponto 7 seguido por P1, P5, P4, P2, P3 e P6.

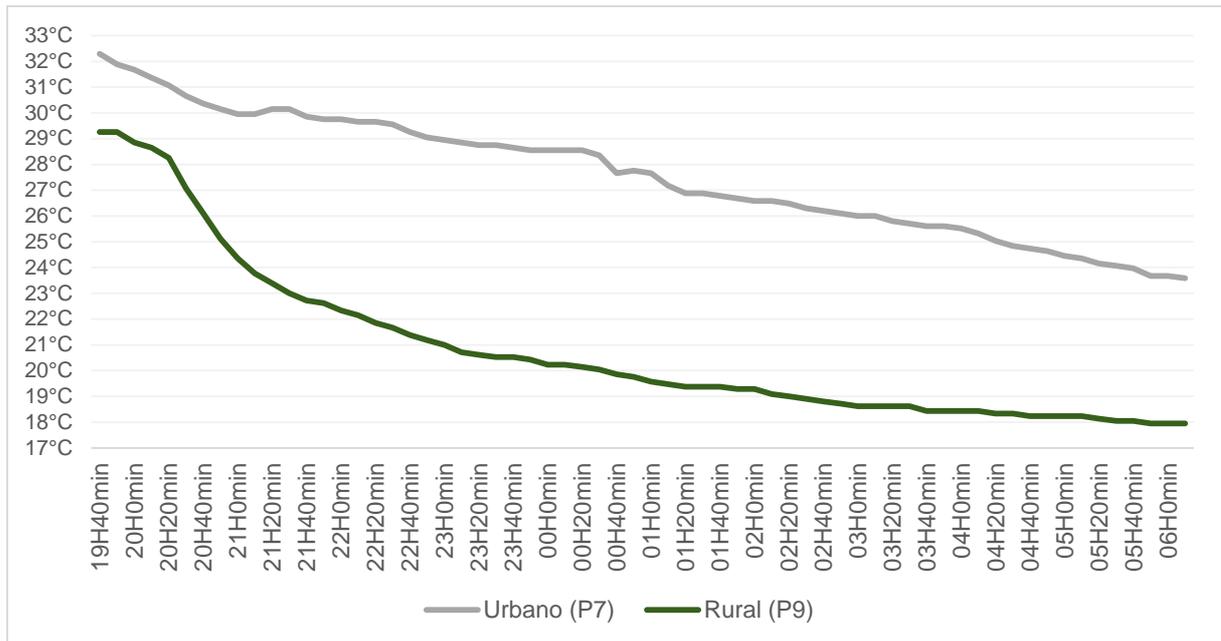
A atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul por suas próprias características de alta nebulosidade e precipitações minimizou o gradiente térmico urbano-rural. Em dias que ocorreram precipitações a diferença máxima entre os dois ambientes foram bem modestas.

No dia 31 de janeiro, em que ocorreu uma precipitação de 36,5 mm, por exemplo, o ponto 1 registrou diferença máxima de 1,8°C e foi o ponto urbano mais aquecido, o menos aquecido foi ponto 6 com diferença máxima de apenas 0,3°C. Além disso, as maiores diferenças de temperatura do ar entre os pontos urbanos e o rural na maioria dos pontos foi entre 4h e 5h. O ponto 6 as 23h chegou a registrar a temperatura do ar com diferença de -0,3°C em relação ao ponto rural.

Conforme Jardim e Ferreira (2005) sob determinados tipos de tempo há uma inibição de características específicas dos microclimas mesoclimas e topoclimas. Esse fato pode ser constatado para Ubá sob atuação da ZCAS, onde suas características homogeneizaram os microclimas locais, na qual todos os pontos apresentaram temperaturas do ar baixas, com pouca diferença entre si.

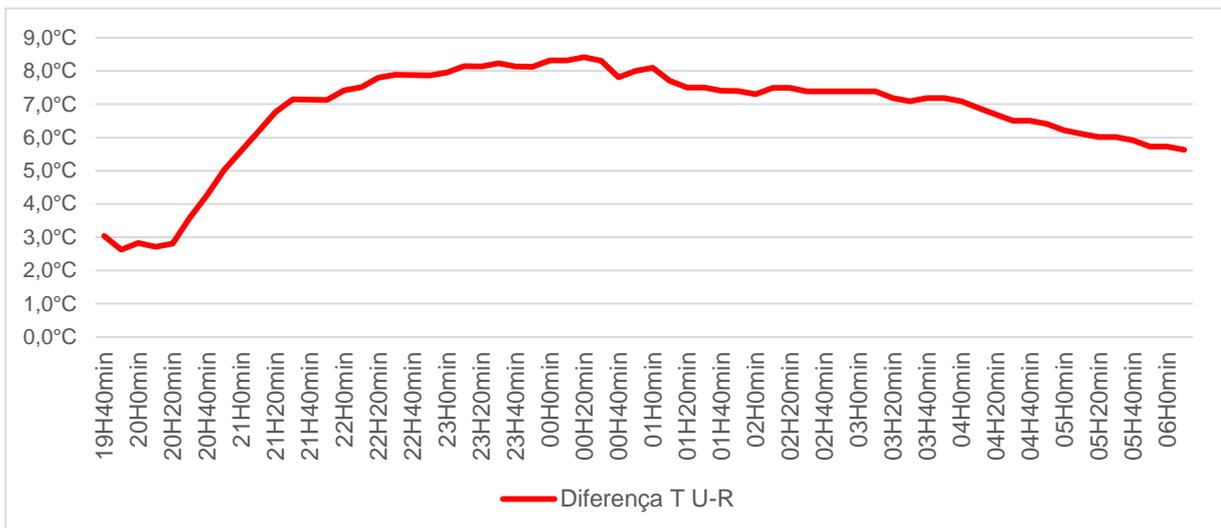
Durante os 3 dias de atuação da Massa Polar Atlântica ocorreram diferenças médias na ordem de 3,5°C, contudo o ponto 7 chegou a registrar uma diferença significativa de 6,1°C no dia 16 de fevereiro.

Nos gráficos 6 e 7 detalha-se a variação do comportamento noturno durante a noite do dia 18 de janeiro, que foi a máxima diferença encontrada nessa pesquisa. O gráfico 6 apresenta a variação da temperatura do ar entre o ponto 7 urbano e o ponto 0 rural. Com o pôr do sol ocorre uma perda de temperatura do ar nos dois pontos, contudo o resfriamento da zona rural se dá a uma taxa muito maior que o ambiente urbano, o que gera uma maior amplitude de temperatura do ar entre os dois ambientes.

Gráfico 6 – Variação temperatura do ar noturno – 18 de janeiro de 2018

Fonte: Elaboração própria.

O gráfico 7 é muito próximo ao gráfico 2 apresentado por Oke (1987) como representativo da ilha de calor urbana.

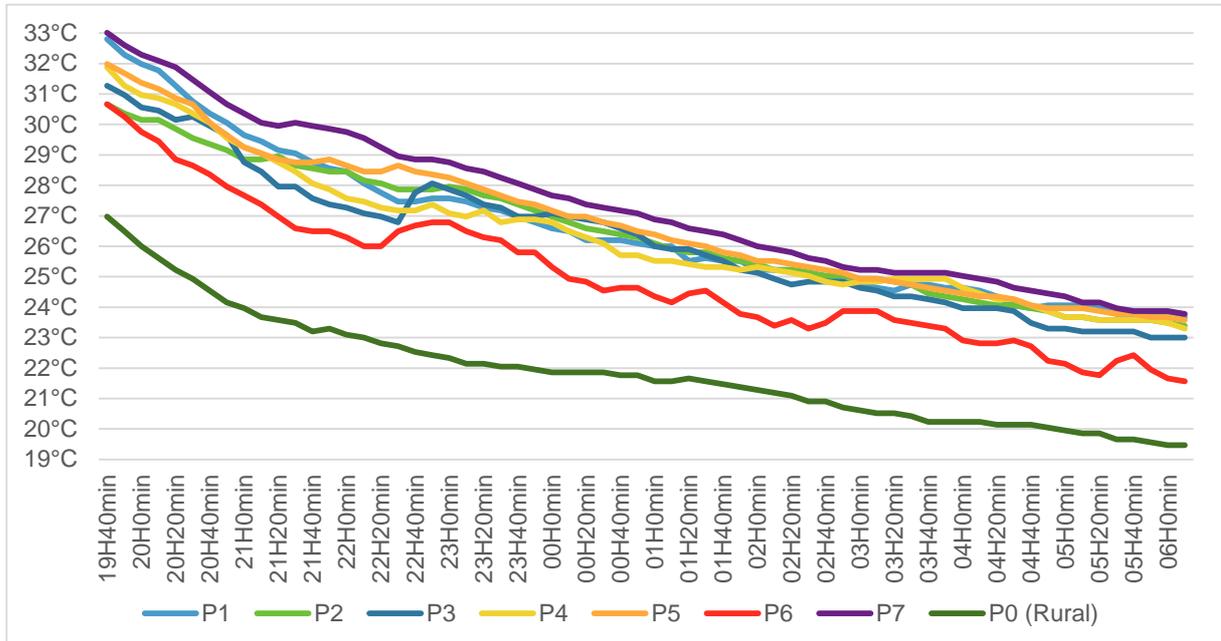
Gráfico 7 – Intensidade da ilha de calor – 18 de janeiro de 2018

Fonte: Elaboração própria.

Nos gráficos 8 e 9 detalha-se a variação do comportamento noturno para todos os pontos durante a noite do dia 20 de janeiro. No gráfico 8 temos a variação da temperatura noturna entre todos os pontos. Durante toda a noite observa-se uma ampla diferença de temperatura do ar entre os pontos urbanos e rural. Essa diferença no início da noite é entre 6°C graus no ponto 7, o ponto mais quente, e de aproximadamente 4°C no ponto mais frio, ponto 6. O pico ocorre às 21h40 de 6,8°C

no ponto 7. A diferença mínima entre o ambiente urbano e rural ocorre as 5h20min da manhã entre o ponto o ponto 6 e ponto 0 (rural) e ela não é menor que 1,9°C.

Gráfico 8 – Variação da temperatura do ar – 20 de janeiro de 2018



Fonte: Elaboração própria.

A explicação para as menores temperaturas do ponto 6 pode ser encontrada em Jardim e Ferreira (2005) ao dizer que ao nível da escala dos bairros e das feições de maior vulto como os topos de morro as diferenças no comportamento térmico é distinguido pela situação topográfica, onde o vento exerce um papel fundamental, muito mais influente que a própria altitude e até mesmo que as características de uso da terra nos diversos bairros para alguns casos. Este fato, explica o comportamento térmico do ponto 6 que em diversos momentos sob diferentes tipos de tempo se apresenta como o ponto urbano mais frio.

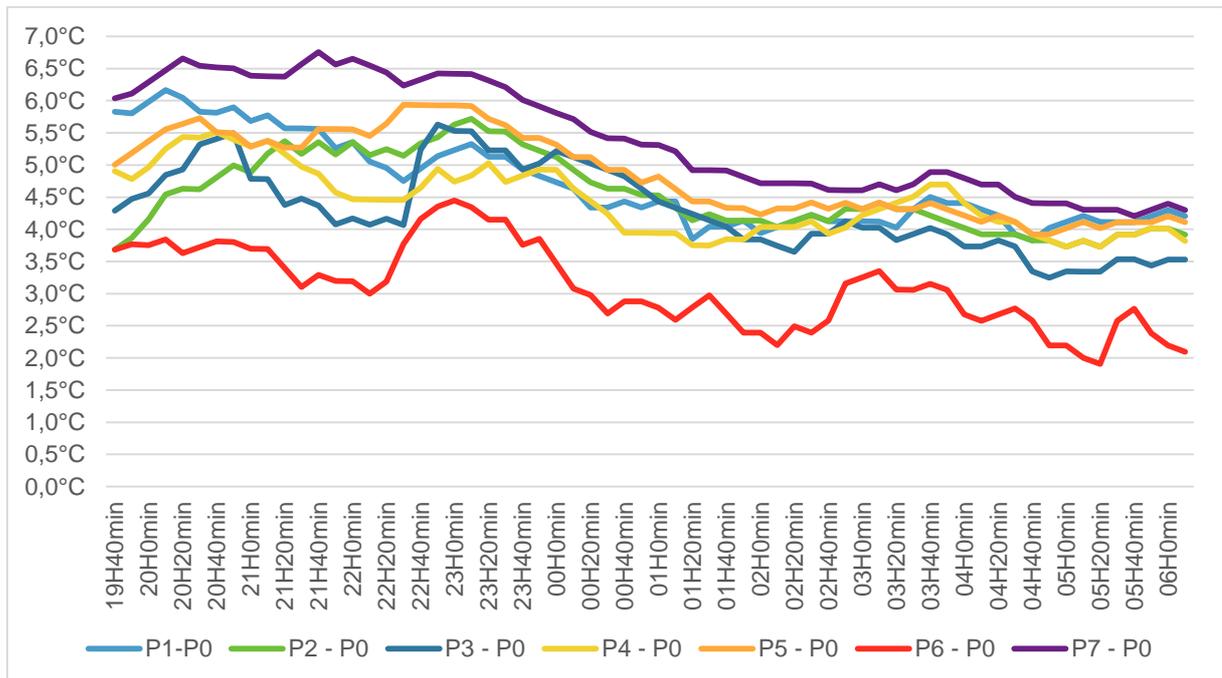
Outra observação é vemos alguns aumentos momentâneos de temperatura do ar registrado nos diversos pontos, mais destacados nos pontos P3 e P6. Esses são pontos urbanos com um alto fator de visão do céu e mais livres de obstáculos aos ventos. Dentro da tendência geral de resfriamento do ar noturno sob a influência de ventos o sensor se resfria mais rapidamente, com a diminuição da intensidade do vento temos um aparente leve aquecimento do ar. Esses pequenos aquecimentos do ar noturno tem sua origem variação do vento ao qual o sensor está exposto.

O ponto mais quente durante toda a noite é o ponto 7 que está localizado em um loteamento popular de grande adensamento. Na maior parte da noite o segundo

ponto mais quente é o ponto 5 que é um ponto da área central, com alta taxa de impermeabilização.

O gráfico 9 mostra a variação da intensidade da diferença urbano-rural noturna para todos os pontos analisados durante a noite do dia 20 de janeiro. O pico máximo para o P1 é as 20h10, para P2 as 23h10, P3 as 22h50, P4 as 20h40, P5 as 22h30, P6 as 22h50 e P7 21h40. Evidenciando como diferentes características de uso e ocupação e naturais geram diferenças nos balanços locais de energia e consequentemente nos retardos diferentes de liberação de calor armazenado durante o dia nesses pontos. Nesse dia analisando todos pontos em conjunto o maior aquecimento deles dá-se as 20h50, aproximadamente 1h10 após o pôr do sol. Horário muito próximo ao comumente visto na literatura (Oke, 1987; Gartland 2012) como horário de máximo aquecimento da cidade. Esse seria o horário mais indicado para realização de um transecto móvel de forma a melhor captar o comportamento geral da temperatura do ar no ambiente urbano.

Gráfico 9 – Intensidade da ilha de calor atmosférica – 20 de janeiro de 2018



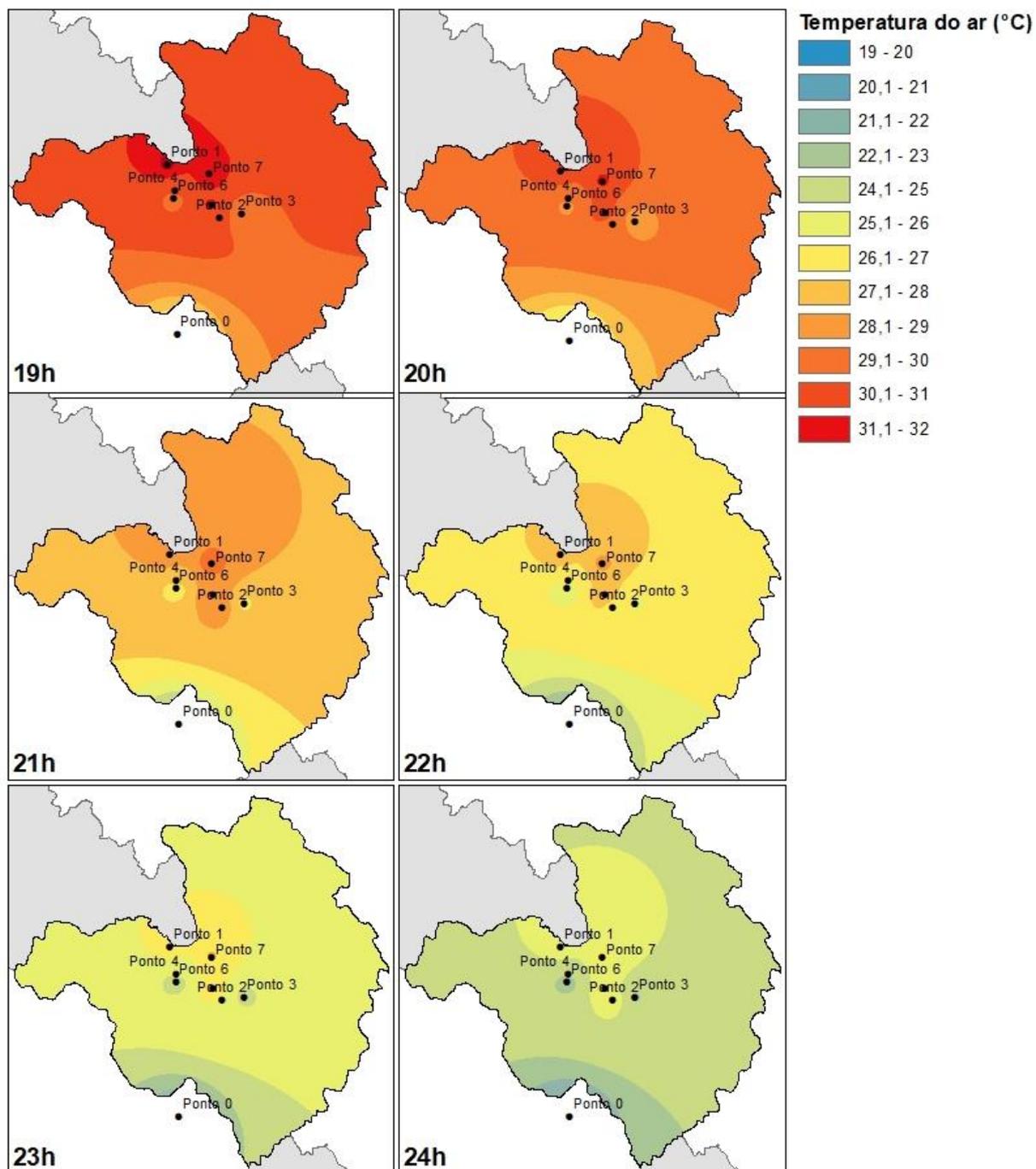
Fonte: Elaboração própria.

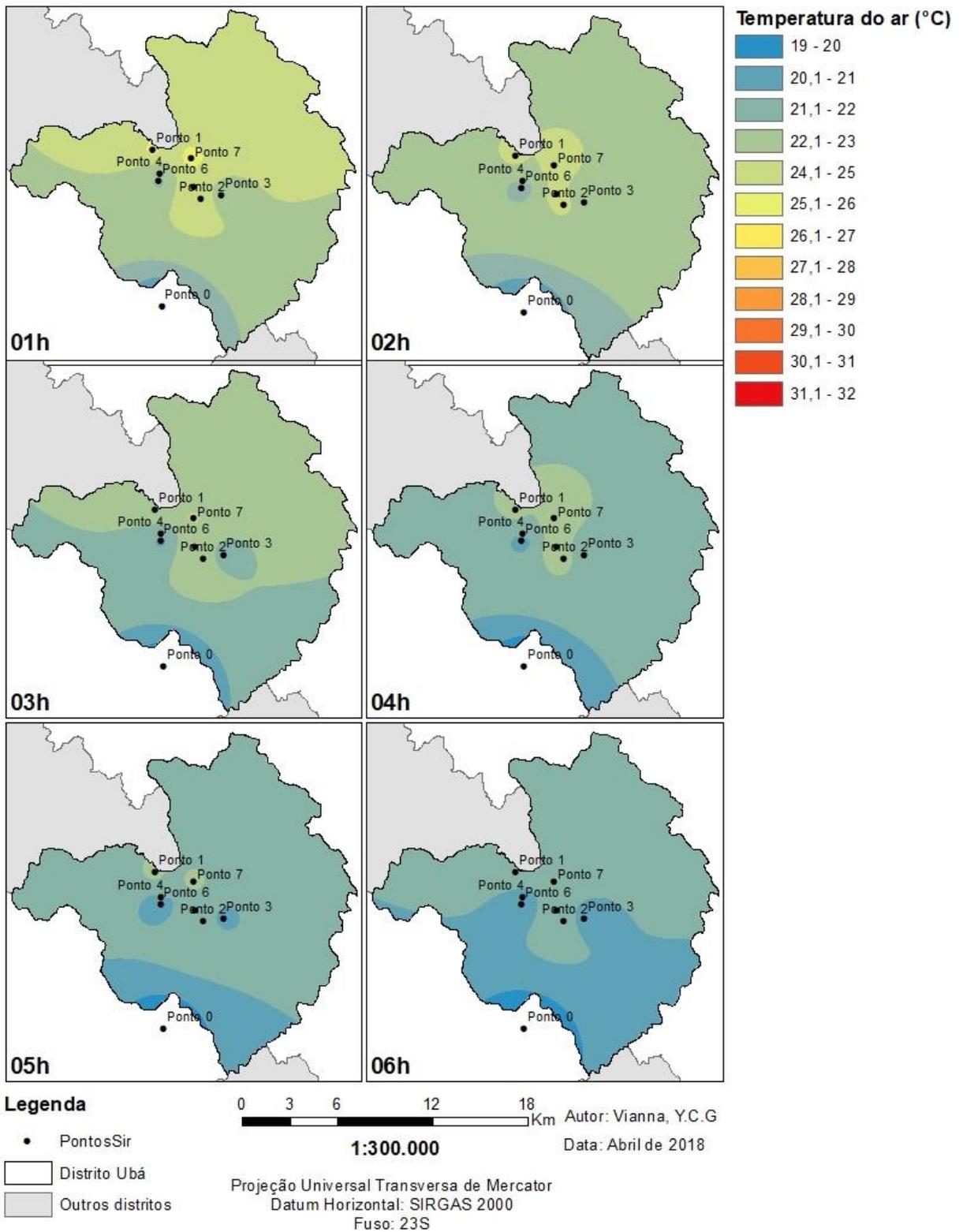
A Figura 16 retrata a espacialização horária das temperaturas noturnas do ar no dia 12 de fevereiro em um dia típico de atuação de um sistema de alta pressão. Esse tipo de sistema gera condições atmosféricas de grande estabilidade com baixa nebulosidade e poucos ventos. Essas características favorecem a formação de ilhas

de calor. A imagem mostra o resfriamento diferenciado de cada ponto ao longo da noite. Próximo ao nascer do sol o gradiente de temperatura do ar entre o urbano e o rural é pequeno.

A Figura 17 expõe a resposta térmica da cidade durante o encadeamento dos tipos de tempo gerados durante a passagem de diferentes sistemas atmosféricos. Pode-se analisar como a circulação atmosférica em escala regional, hierarquia superior, condiciona o tempo nos diversos microclimas, que manifestam suas particularidades térmicas com maior intensidade sob mTa e com menor intensidade sob ZCAS. Entre 17 e 20 de janeiro período de atuação da mTa ocorreram as maiores médias e as maiores máximas. Além serem evidenciadas as diferenças intraurbanas entre os pontos, os pontos 6 e 2 mostra-se menos aquecidos em comparação com os demais pontos urbanos. No período de 4 e 5 de fevereiro sob atuação da ZCAS manifesta-se com menor veemência as diferenças entre todos os pontos principalmente nas máximas ocorridas nesses dias, temos o que Jardim (2010) chama de isoterma, má definição de espaços micro e topoclimáticos.

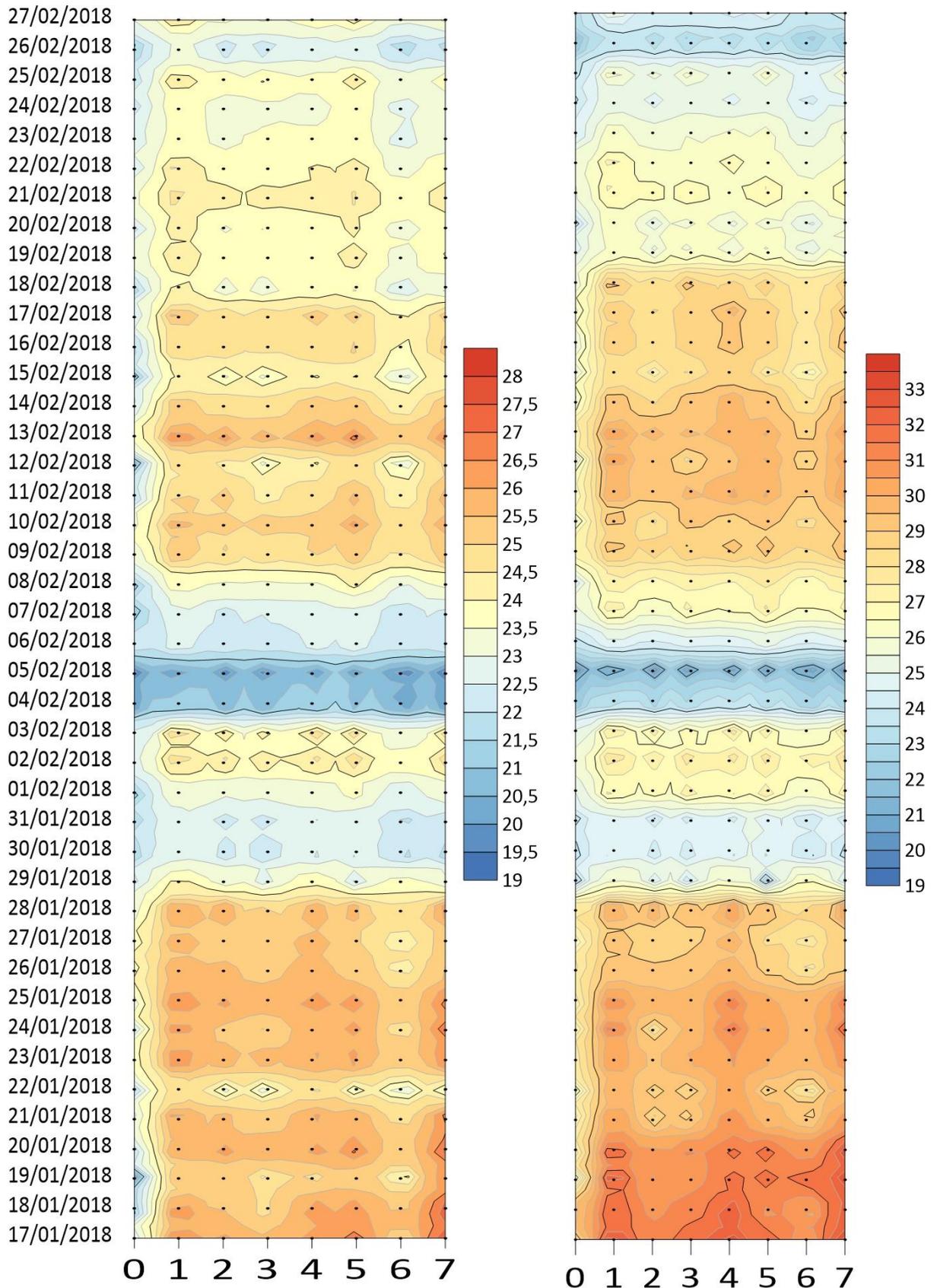
Figura 16 - Evolução horária da ilha de calor noturna – 12 de Fevereiro de 2018





Fonte: Elaboração própria.

Figura 17 - Temperatura do ar média e máxima noturna dos pontos durante o período de coleta



Fonte: Elaboração própria.

O quadro 13 expõe a média das temperaturas do ar urbano em comparação com ar rural as 20h, meia hora após o pôr do sol, ordenadas do ponto mais quente para o ponto mais frio. Esse horário foi escolhido para análise pois a maioria dos pontos de coleta tem seu pico em relação ao ponto rural nesse horário. Seja sob atuação da massa tropical atlântica que favorece a formação de ilhas de calor ou tendo em vista o período todo, o ponto 1 as 20h se mostrou o ponto de maior aquecimento.

Com valores médios bem próximos o ponto 7, loteamento popular, se mostrou como o segundo ponto mais aquecido da área urbana nesse horário. Em terceiro o ponto 4 que está próximo a grande fábrica da Itatiaia. Em quarto o ponto 5 que é o ponto representativo do centro da cidade, de maior urbanização, contudo próximo a um curso de água, o que pode explicar sua menor temperatura em relação ao ponto 1,7 e 4. Os pontos 2 e 3 são os pontos urbanos que possuem maior vegetação e menor impermeabilização sendo os pontos com menor temperatura do ar.

Contudo dado a característica de possuir a maior área vegetada, que o ponto 3 fosse mais frio, que o ponto 2 que é mais urbanizado. O ponto 6 é o ponto que apresenta menor aquecimento em comparação com área rural, esse comportamento credita-se a posição no sítio urbano e a topografia local. O ponto se localiza em um topo de morro onde ocorre maior atuação dos ventos e resfriamento por convecção em comparação com o ponto rural e os demais outros pontos urbanos que estão localizado em um fundo de vale. Sob condições de atuações da ZCAS esse ponto registrou temperaturas do ar momentâneas levemente mais frias que a zona rural em 6 dias, com temperatura do ar de até $-0,3^{\circ}\text{C}$ as 20h.

Quadro 13 – Pontos mais quentes as 20h

Média das temperaturas do ar urbano-rural as 20h		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	3,5	P1
2°	3,1	P7
3°	3,0	P4
4°	2,8	P5
5°	2,4	P3
6°	2,2	P2
7°	1,6	P6

Média das temperaturas do ar do ar urbano-rural as 20h sob mTa		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	4,7	P1
2°	4,7	P7
3°	4,1	P4
4°	3,8	P5
5°	3,3	P3
6°	2,9	P2
7°	2,8	P6

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 3 e gráfico 10 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA) e Teste de Tukey para temperatura do ar as 20h para todos os dias de coleta de dados. Os resultados levam a rejeição da hipótese nula de que não existe diferença estatística significativa entre os mesmos. Os resultados mostram que existe uma diferença estatística dos valores da temperatura do ar do ponto rural em comparação com os pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P7. O valor de F é muito acima do valor do F crítico é o que evidência a força da diferença estatística dos pontos. O ponto 6, que é o ponto localizado no topo de morro, não registrou temperaturas do ar as 20h significativamente diferente do ponto rural, ou seja, seu comportamento térmico é igual ao ponto rural. Contudo ela foi significativamente diferente do ponto 1.

Tabela 3 – Estatística de Variância para Temperaturas do ar as 20h

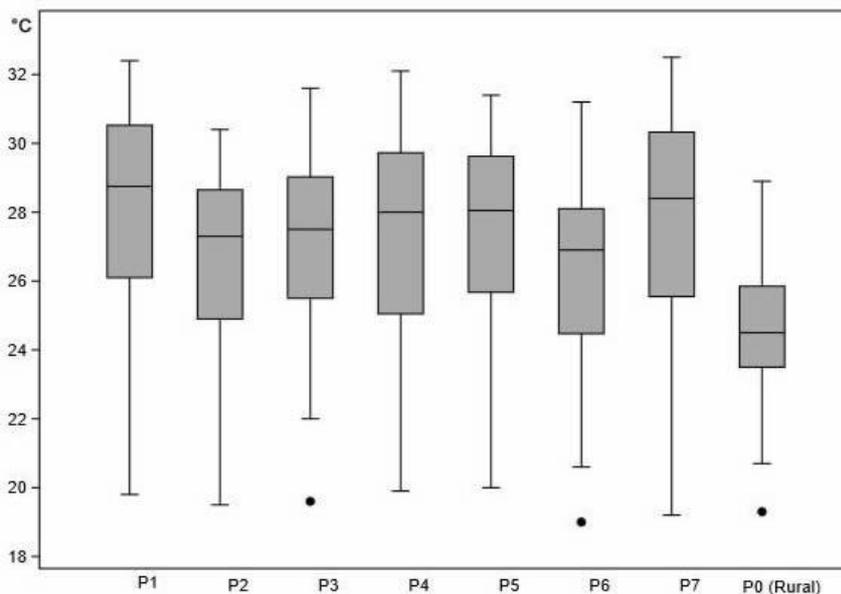
ANOVA: fator único

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>			
P1	42	1180,796	28,11419	8,464876			
P2	42	1125,845	26,80583	6,395471			
P3	42	1136,214	27,05271	6,831973			
P4	42	1157,383	27,55674	8,612807			
P5	42	1148,925	27,35536	6,914368			
P6	42	1102,387	26,24731	6,83996			
P7	42	1161,644	27,65819	10,196			
P0 (Rural)	42	1033,319	24,60283	3,193476			
Fonte da variação		<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos		353,5674	7,0000	50,5096	7,0337	0,0000	2,0375
Dentro dos grupos		2355,4062	328,0000	7,1811			
Total		2708,9736	335,0000				

Teste de Tukey	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P0 (Rural)
P1		0,338	0,621	0,980	0,901	0,034	0,994	0,000
P2	3,151		1,000	0,909	0,982	0,980	0,831	0,004
P3	2,544	0,607		0,991	1,000	0,863	0,970	0,001
P4	1,352	1,799	1,192		1,000	0,338	1,000	0,000
P5	1,828	1,324	0,716	0,476		0,557	1,000	0,000
P6	4,503	1,352	1,959	3,151	2,676		0,240	0,092
P7	1,094	2,057	1,450	0,258	0,733	3,409		0,000
P0 (Rural)	8,503	5,351	5,959	7,150	6,675	3,999	7,408	

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 10 – Distribuição dos dados de Temperaturas do ar as 20h



Fonte: Elaboração própria.

O quadro 14 apresenta a média das temperaturas do ar urbano em comparação com ar rural as 21h. Foi selecionado esse horário para análise, pois o ponto 7 apresenta as maiores diferenças de temperatura do ar em relação ao ponto rural nesse horário e este é o ponto de maior intensidade do gradiente de temperatura do ar entre o urbano e rural, principalmente sob atuação da mTa. O padrão geral é o mesmo do horário anterior com os pontos P6, P3 e P2 novamente sendo os pontos mais frios e os pontos P1, P7, P5 e P4 sendo os mais quentes. As 21h o ponto do centro da cidade P5 se torna mais quente que o P4 que representa a grande fábrica da Itatiaia. Sob atuação específica da mTa o ponto 7 é o ponto com maior média, mostrando sua capacidade maior de retenção do calor diurno absorvido. Dado maior

resfriamento de áreas vegetadas a partir desse horário o ponto P3 é o segundo ponto mais frio tanto no período analisado como um todo, quanto sob atuação da mTa.

Quadro 14 – Pontos mais quentes as 21h

Média das temperaturas do ar urbano-rural as 21h		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	3,5	P1
2°	3,2	P7
3°	3,0	P5
4°	2,9	P4
5°	2,4	P2
6°	2,4	P3
7°	1,6	P6
Média das temperaturas do ar do ar urbano-rural as 21h sob mTa		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	5,2	P7
2°	5,0	P1
3°	4,4	P5
4°	4,0	P4
5°	3,6	P2
6°	3,4	P3
7°	2,8	P6

Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 4 e gráfico 11 estão os resultados da Análise de Variância (ANOVA) para temperatura do ar as 21h para todos os dias de coleta de dados. Os resultados levam a rejeição da hipótese nula de que todos os pontos são homogêneos. Os resultados mostram que existe uma diferença estatística dos valores da temperatura do ar do ponto rural P0 em comparação com todos os pontos. O ponto 6 difere em seu comportamento térmico sistematicamente do ponto 1. O Ponto 7 difere estatisticamente do ponto 6, mostrando que além de estabelecida uma variação no comportamento entre o ambiente rural e urbano existe uma diferenciação de microclimas intraurbanos na cidade de Ubá, no caso resultante da morfologia de topo de morro do ponto 6.

Tabela 4 – Estatística de Variância para Temperaturas do ar as 21h

ANOVA: fator único

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
P1	42	1132,963	26,97530952	6,050903536
P2	42	1087,919	25,90283333	5,146621801
P3	42	1086,703	25,87388095	4,8170384
P4	42	1106,032	26,33409524	5,450178722
P5	42	1112,092	26,47838095	5,482218729
P6	42	1054,576	25,10895238	4,620628144
P7	42	1118,768	26,63733333	7,720671496
P0 (Rural)	42	985,729	23,4697381	1,846720637

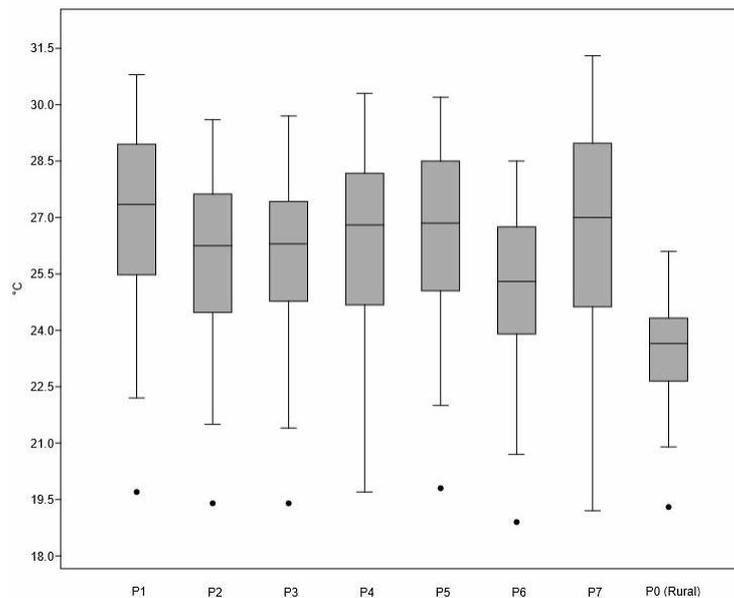
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	366,80862	7,00000	52,40123	10,19108	0,00000	2,03753
Dentro dos grupos	1686,53424	328,00000	5,14187			
Total	2053,34286	335,00000				

Teste de

Tukey	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P0 (Rural)
P1		0,372	0,335	0,900	0,973	0,005	0,998	0,000
P2	3,070		1,000	0,988	0,942	0,746	0,812	0,000
P3	3,158	0,088		0,982	0,924	0,783	0,777	0,000
P4	1,832	1,237	1,325		1,000	0,207	0,999	0,000
P5	1,427	1,643	1,731	0,406		0,107	1,000	0,000
P6	5,341	2,272	2,184	3,509	3,915		0,044	0,024
P7	0,960	2,110	2,197	0,872	0,467	4,381		0,000
P0 (Rural)	10,010	6,937	6,849	8,174	8,580	4,665	9,047	

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 11 – Distribuição dos dados de Temperaturas do ar as 21h



Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 15 exhibe a média das temperaturas do ar urbano em comparação com ar rural as 0h. O Padrão geral se mantém igual anterior com os pontos P6, P3 e P2 novamente sendo os pontos mais frios e os pontos P1, P5, P7 e P4 sendo os mais quentes. Na média o P5 a meia noite é mais quente que o P7. Entretanto o ponto P7 na média é o mais quente sob atuação do mTa, sob outros sistemas ele se aquece menos ou se resfria mais rápido que os outros pontos, uma possibilidade é o fato que as ruas nesse ponto serem de pedra tosca o que permite uma maior infiltração e evaporação gerando maior resfriamento que nos outros pontos onde o pavimento de asfalto é predominante, podendo reduzir a média de temperatura do ar em dias com precipitações.

A tabela 5 e gráfico 12 expõe os resultados da Análise de Variância (ANOVA) para temperatura do ar as 0h para todos os dias de coleta de dados. Assim como nos horários precedentes o ponto rural apresenta um comportamento estatisticamente diferente dos outros pontos urbanos. Adicionalmente o ponto 6 se mostrou comprovadamente, diferente do ponto 1 e do ponto 5. O ponto 7 apresentou dados que o diferem do ponto 6.

Quadro 15 – Pontos mais quentes as 0h

Média das temperaturas do ar urbano-rural as 0h		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	2,9	P1
2°	2,6	P5
3°	2,5	P7
4°	2,4	P4
5°	2,3	P2
6°	1,8	P3
7°	1,3	P6
Média das temperaturas do ar do ar urbano-rural as 0h sob mTa		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	4,7	P7
2°	4,3	P1
3°	4,1	P5
4°	3,8	P2
5°	3,6	P4
6°	2,9	P3
7°	2,5	P6

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 – Estatística de Variância para Temperaturas do ar as 00h

ANOVA: fator único

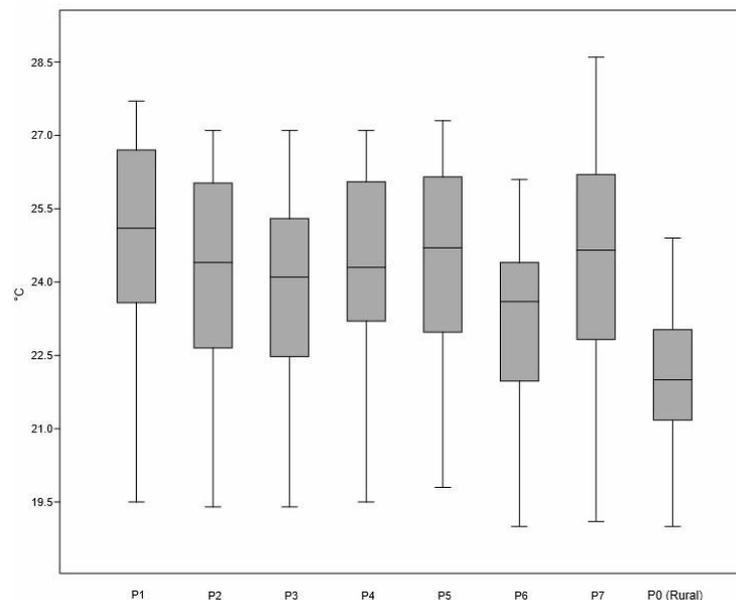
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
P1	42	1048,639	24,9676	3,449508
P2	42	1019,812	24,28124	3,494653
P3	42	1002,683	23,8734	3,011885
P4	42	1024,901	24,4024	3,176393
P5	42	1035,855	24,66321	3,432287
P6	42	978,191	23,29026	2,599036
P7	42	1031,947	24,57017	4,935148
P0 (Rural)	42	925,186	22,02824	1,654297

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	266,6611819	7	38,09445	11,8337	1,89E-13	2,037534
Dentro dos grupos	1055,881545	328	3,219151			
Total	1322,542727	335				

Teste de

Tukey	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P0 (Rural)
P1		0,651	0,098	0,844	0,994	0,001	0,975	0,000
P2	2,483		0,967	1	0,979	0,195	0,995	0,000
P3	3,960	1,478		0,869	0,476	0,826	0,618	0,000
P4	2,019	0,464	1,941		0,998	0,090	1,000	0,000
P5	1,117	1,366	2,843	0,902		0,013	1	0,000
P6	6,031	3,548	2,070	4,012	4,914		0,026	0,028
P7	1,409	1,074	2,551	0,610	0,292	4,622		0,000
P0 (Rural)	10,620	8,135	6,658	8,599	9,501	4,587	9,209	

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 12 – Distribuição dos dados de Temperaturas do ar as 0h

Fonte: Elaboração própria.

No horário de 6h conforme Quadro 16 se mantém as características de aquecimento da meia noite, ocorrendo um rebaixamento do gradiente urbano-rural, contudo relativamente o comportamento médio dos pontos é o mesmo do horário anterior. O ponto 6 registra na média menos de 1°C de diferença para o ambiente rural, enquanto na média o ponto 1 ainda registra 2,5°C e o ponto 7 em dias de atuação da mTa 3,5°C.

Quadro 16 – Pontos mais quentes as 6h

Média das temperaturas do ar urbano-rural as 6h		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	2,5	P1
2°	2,1	P5
3°	1,9	P4
4°	1,9	P7
5°	1,7	P2
6°	1,3	P3
7°	0,7	P6
Média das temperaturas do ar do ar urbano-rural as 6h sob mTa		
Posição	Temperatura do ar	Ponto
1°	3,5	P7
2°	3,5	P1
3°	3,3	P5
4°	3,1	P2
5°	2,9	P4
6°	2,1	P3
7°	1,5	P6

Fonte: Elaboração própria.

O teste ANOVA para as 6h vai rejeitar a hipótese nula mostrando que o ponto rural tem um comportamento térmico diferenciado em relação a todos pontos urbanos. Além disso o ponto 6 nesse horário se comporta diferentemente do P1, P2, P4 e P5. O Ponto 7 tem comportamento diferente do P6 e P3 difere do comportamento do P1.

Tabela 6 – Estatística de Variância para Temperaturas do ar as 00h

ANOVA: fator único

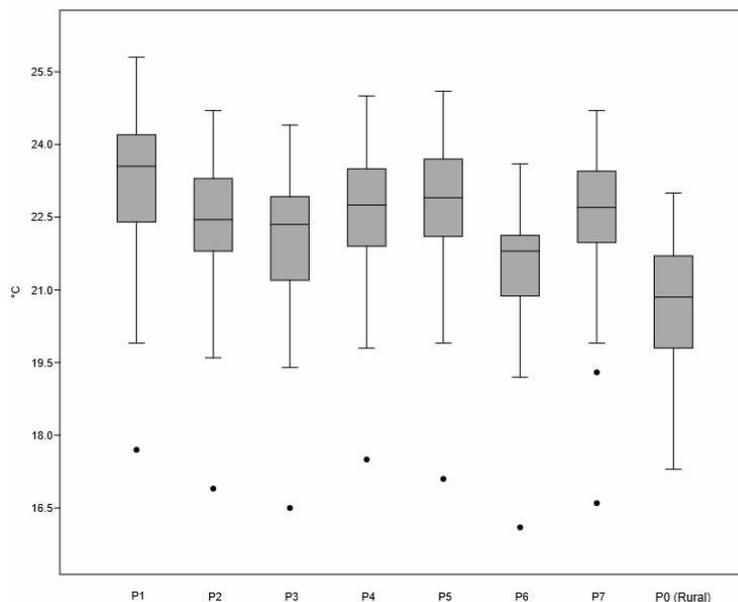
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
P1	42	974,575	23,20417	2,029624
P2	42	940,792	22,39981	1,956985
P3	42	924,332	22,0079	2,039742
P4	42	949,035	22,59607	1,868637
P5	42	957,09	22,78786	1,949709
P6	42	899,74	21,42238	1,630463
P7	42	947,236	22,55324	2,367426
P0 (Rural)	42	868,643	20,68198	1,86064

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	194,0875	7	27,72679	14,1254	4,95E-16	2,037534
Dentro dos grupos	643,8323	328	1,962903			
Total	837,9198	335				

Teste de

Tukey	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P0 (Rural)
P1		0,133	0,002	0,477	0,860	0,000	0,366	0,000
P2	3,789		0,907	0,998	0,904	0,035	1,000	0,000
P3	5,595	1,806		0,520	0,174	0,557	0,637	0,001
P4	2,842	0,947	2,753		0,999	0,004	1	0,000
P5	1,971	1,817	3,623	0,870		0,000	0,994	0,000
P6	8,271	4,483	2,676	5,430	6,300		0,007	0,234
P7	3,084	0,705	2,511	0,242	1,112	5,187		0,000
P0 (Rural)	11,700	7,908	6,102	8,855	9,725	3,425	8,613	

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 13 – Distribuição dos dados de Temperaturas do ar as 0h

Fonte: Elaboração própria.

Os testes estatísticos mostraram para todos horários noturnos que existe uma diferença no comportamento da temperatura do ar no ambiente rural em relação ao ambiente urbano. Assim como uma diferenciação entre alguns dos pontos urbanos. O ponto 6 evidencia a existência de topoclimas diferenciado entre o fundo do vale e o topo do morro. Sendo estatisticamente comprovado que seu comportamento diverge do ponto 1 durante qualquer horário noturno. Fato que decorre não somente em função do gradiente adiabático do ar, mas nesse caso, principalmente pela atuação dos ventos sem barreiras que favorece a convecção e as menores temperaturas do ar. Além disso o ponto 7 a partir das 21h mostra um comportamento diferenciado em relação ao ponto 6.

Fica claro a existência de um gradiente térmico urbano-rural e a formação de campos térmicos diferenciados no interior do ambiente urbano. Na tabela 7 mostra as noites analisadas e relacionadas segundo a classificação de intensidade de ilhas de calor de Garcia e Álvarez (2008).

Tabela 7 – Episódios de Ilhas de calor noturnas em Ubá

Varição (°C)	Magnitude	Nº de noites	%
0°C - 2°C	Fraca	5	12%
2°C - 4°C	Moderada	17	40%
4°C - 6°C	Forte	12	29%
> 6°C	Muito Forte	8	19%
Total		42	100%

Fonte: Elaboração própria

Foi verificado no período analisado a presença de ilha de calor noturna muito forte com intensidade superior a 6°C em pelo menos 8 noites das 42 noites monitoradas, ou seja, em 19% das noites. Sob domínio da mTa, houve a presença de ilha de calor muito forte em 50% das noites analisadas. Desta forma uma ilhas de calor classificadas como forte ou muito forte ocorreram em quase metade (49%) das noites observadas.

Oliveira (2016) em seu estudo sobre participação dos sistemas atmosféricos no ritmo das chuvas na bacia do Rio Preto constatou que na região em um ano habitual, como o ano 2006, você tem a atuação da mTa em 47% dos dias, no ano de 2007, ano seco, 53% e em 2008, classificado como um ano chuvoso, teve atuação em 61% dos dias.

Portanto durante o ano podemos dizer que em média metade dos dias temos condições de desenvolvimento de uma anomalia térmica em Ubá, que reforça as altas temperaturas do clima tropical.

4.4.2 Dados Diurnos

O quadro 17 mostra a diferença máxima entre temperatura do ar diurno nos pontos de coleta. Os pontos P3, P6 e P7 apresentaram seus picos de aquecimento máximo um maior número de vezes próximos a 17h (no horário de verão), enquanto ponto P2 foi as 16h e ponto P5 as 11h.

O horário de maior aquecimento do P5 em relação ao ponto rural é muito diverso dos outros pontos, onde o pico diurno se dá próximo das 15h (nesse trabalho pelos valores estarem de acordo com horário de verão seria próximo as 16h), esta situação pode estar relacionada ao sombreamento causado por um edifício com 14 pavimentos próximo a esse ponto.

Rocha et al (2014) concluíram que diferentemente de outros trabalhos, durante o dia não verificou-se aumento de temperaturas do ar, de uma área mais urbanizada em comparação a uma área mais vegetada e com maior permeabilidade do solo. Um dos motivos encontrados é que as edificações bastante verticalizadas ao propiciarem maiores áreas sombreadas diminuem a recepção da radiação solar direta o que influencia na minimização das temperaturas do ar durante o dia. Sendo o efeito das áreas vegetadas como elemento de mitigador da temperatura do ar, se mostrando muito mais efetivo durante a noite. As edificações, no período noturno, pelas características de materiais tem maior atraso na perda de calor, mantendo as temperaturas mais elevadas em áreas densamente construídas e com maior área de superfícies pavimentadas.

Os pontos diurnos registraram maiores valores que o noturno devido ao problema de isolamento dos sensores, por isso não considera-se os valores em absolutos, apenas como tendência do comportamento térmico dos pontos. Todos os pontos registraram em algum momento do dia temperaturas do ar elevadas em relação ao ponto rural. Contudo analisando os dados de forma diária em alguns horários os pontos urbanos se mostraram bem mais frios que o ponto rural o que credita-se a diferenças de sombreamento entre os pontos durante o dia. Com isso os valores da média diurna são baixos.

Quadro 17 – Intensidade máxima e horário de ocorrência da ilha de calor diurna

Sistema atuante	Data	P2-P0		P3-P0		P4-P0		P5-P0		P6-P0		P7-P0		Máx. Diária	Média Diária
		Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Máxima	Hora	Data	Hora	Máxima	Hora	Máxima		
mTa	17/01/2018	19	2,8	10	5,6	18	5,1	9	5,3	17	5,2	17	7,7	7,7	5,3
mTa	18/01/2018	12	5,7	8	6,3	12	3,9	12	6,4	8	4,8	17	7,6	7,6	5,8
mTa	19/01/2018	17	4,8	8	7,5	19	6,2	11	7,2	8	6,8	17	8,6	8,6	6,9
mTa	20/01/2018	11	5,6	9	6,7	19	5,6	11	7,6	18	6,8	17	8,7	8,7	6,8
LI	21/01/2018	16	6,1	16	6,2	19	5,3	11	7,4	17	6,4	16	9,5	9,5	6,8
LI	22/01/2018	15	5,3	8	5,7	17	5,1	11	6,7	9	4,1	15	5,0	6,7	5,3
mTa	23/01/2018	16	4,3	9	8,3	19	3,7	16	6,2	9	6,4	17	7,4	8,3	6,1
mTa	24/01/2018	17	3,6	9	6,1	19	4,7	16	5,4	18	5,2	16	8,2	8,2	5,5
mTa	25/01/2018	11	6,0	10	5,9	19	5,0	11	5,4	17	4,9	17	8,1	8,1	5,9
LI	26/01/2018	11	4,5	9	6,9	18	3,8	11	6,7	8	7,0	15	5,6	7,0	5,7
LI	27/01/2018	12	5,1	17	7,1	19	4,0	9	5,4	12	5,9	17	5,0	7,1	5,4
LI	28/01/2018	16	3,9	17	7,1	17	4,1	9	4,5	9	5,6	17	5,6	7,1	5,1
LI	29/01/2018	16	4,8	9	4,8	16	5,0	9	4,1	17	9,2	17	4,7	9,2	5,4
ZCAS	30/01/2018	14	2,3	14	4,5	14	2,2	14	4,5	14	4,3	14	2,8	4,5	3,4
ZCAS	31/01/2018	11	1,5	14	3,1	6	1,1	11	3,8	11	3,0	14	2,8	3,8	2,6
ZCAS	01/02/2018	17	4,8	17	7,8	14	3,3	14	7,6	14	4,9	17	5,2	7,8	5,6
ZCAS	02/02/2018	16	3,8	17	7,8	19	2,7	16	5,5	10	7,5	17	7,7	7,8	5,8
ZCAS	03/02/2018	10	2,4	10	3,8	19	2,9	10	4,1	12	4,1	17	5,4	5,4	3,8
ZCAS	04/02/2018	12	2,4	12	4,0	6	2,9	12	4,7	12	2,7	12	3,8	4,7	3,4
ZCAS	05/02/2018	17	0,8	14	1,3	17	0,7	14	2,2	14	2,1	17	0,4	2,2	1,2
ZCAS	06/02/2018	16	2,1	14	4,9	19	0,9	13	4,7	11	3,9	16	2,8	4,9	3,2
ZCAS	07/02/2018	16	3,4	16	7,6	19	1,4	16	5,2	13	3,7	16	5,0	7,6	4,4
LI	08/02/2018	14	5,4	14	8,0	14	4,0	14	7,2	17	6,7	14	6,3	8,0	6,3
LI	09/02/2018	16	3,4	17	7,7	17	3,1	17	4,6	18	5,4	17	6,2	7,7	5,1
LI	10/02/2018	16	3,8	16	6,1	18	3,2	16	4,9	18	3,7	16	6,4	6,4	4,7
mTa	11/02/2018	17	5,1	17	6,6	19	4,1	17	4,8	17	4,7	17	7,9	7,9	5,5
mTa	12/02/2018	17	5,1	17	8,4	19	4,8	17	5,2	17	5,6	17	7,9	8,4	6,2
mTa	13/02/2018	6	3,1	9	5,0	14	3,9	14	3,6	9	4,4	19	3,5	5,0	3,9
F	14/02/2018	15	4,1	17	7,8	19	4,6	11	5,7	17	4,3	17	5,2	7,8	5,3
mPa	15/02/2018	16	1,8	10	4,6	19	3,1	12	3,2	10	5,1	19	2,6	5,1	3,4
mPa	16/02/2018	16	4,3	17	8,1	19	4,7	16	5,1	8	6,2	17	6,5	8,1	5,8
LI	17/02/2018	16	3,1	17	7,1	19	4,1	10	4,4	16	4,2	17	3,7	7,1	4,4
F	18/02/2018	16	3,7	17	7,4	19	3,9	16	5,1	12	4,3	17	5,8	7,4	5,0
mPa	19/02/2018	6	1,2	8	3,6	6	1,4	12	3,3	9	4,5	13	2,4	4,5	2,7
mPa	20/02/2018	16	4,0	16	5,1	16	2,9	16	4,9	15	2,8	16	4,7	5,1	4,1
F	21/02/2018	12	4,9	13	8,0	12	5,1	13	6,8	13	6,9	13	5,5	8,0	6,2
ZCAS	22/02/2018	11	2,2	11	5,2	17	1,8	11	4,8	17	3,7	17	3,9	5,2	3,6
ZCAS	23/02/2018	15	3,1	15	4,5	15	4,5	15	4,5	15	6,2	15	4,5	6,2	4,6
ZCAS	24/02/2018	13	2,8	13	7,3	18	1,1	13	5,3	12	3,4	12	1,8	7,3	3,6
ZCAS	25/02/2018	19	1,8	10	7,2	14	2,2	11	5,2	10	5,8	16	2,7	7,2	4,2
LI	26/02/2018	14	1,8	9	7,6	14	3,2	14	7,3	9	4,5	14	4,4	7,6	4,8
LI	27/02/2018	16	2,8	9	6,0	16	2,9	11	6,5	12	3,2	16	3,6	6,5	4,2
Média			3,7		6,2		3,5		5,3		5,0		5,3		
Moda/Máx.	16h		6,1	17h	8,4	19,0	6,2	11,0	7,6	17h	9,2	17h	9,5		
Máximo mTa	17h		6,0	9h	8,4	19,0	6,2	11,0	7,6	17h	6,8	17h	8,7		
Média mTa			4,6		6,6		4,7		5,7		5,5		7,6		
Máximo ZCAS	16h		4,8	14,0	7,8	19,0	4,5	14,0	7,6	14,0	7,5	17h	7,7		
Média ZCAS			2,6		5,3		2,1		4,8		4,3		3,8		
Máximo mPa			4,3		8,1		4,7		5,1		6,2		6,5		
Média mPa			2,8		5,3		3,0		4,1		4,6		4,1		
Máximo LI			6,1		8,0		5,3		7,4		9,2		9,5		
Média LI			4,2		6,7		4,0		5,8		5,5		5,5		
Média F			4,2		7,7		4,5		5,9		5,2		5,5		
Máx. F			4,9		8,0		5,1		6,8		6,9		5,8		

Fonte: Elaboração própria.

Os valores máximos representados no quadro 17 indicam um maior aquecimento do ponto 3 e 7. O ponto 3 por ficar em uma área gramada e com significativa vegetação nos arredores não era esperado registrar altas temperaturas, contudo é um ponto com alto fato de visão do céu, 0,78, conseqüentemente livre da influência do sombreamento por outras edificações ou elementos urbanos, o que

resultou em uma média das máximas elevada de 6,2°C, além de um pico de 8,4°C. Salientando novamente que dado equipamento usado a influência do sombreamento é muito significativa nesse trabalho.

O ponto 7 apresentou uma média das máximas de 5,3°C e um pico de 9,5°C que está relacionada às características de uso e ocupação da área. É o ponto com o maior número de edificações 140.

O ponto 4 foi alocado em um pequeno corredor, o que provoca um maior sombreamento ao longo do dia, seu fator de visão do céu é de apenas 0,43. O que se refletiu em seus baixos valores de temperatura do ar, tendo uma média das máximas de 3,5°C.

O ponto 5 na região central captou o aquecimento de uma área bem urbanizada e por isso atribui-se que seus valores com média das máximas de 5,3 e pico de 7,6°C sob atuação da mTa. Além disso, o fator de visão do céu, permite grande recepção de radiação diurna.

O Ponto 2 além de ficar próximo a uma mata e a outras edificações que podem sombrear o ponto em determinados horários do dia o que seria uma explicação para seu menor pico e média das máximas diurna de apenas 3,7°C, além da influência desse ponto estar em uma vertente voltada ao sul.

4.5 VALIDAÇÃO DO MODELO DE POTENCIAL TÉRMICO

De posse dos dados empíricos de temperatura do ar é possível verificar o ajustamento do modelo de potencial térmico com os dados de temperatura do ar noturno reais registrados em campo.

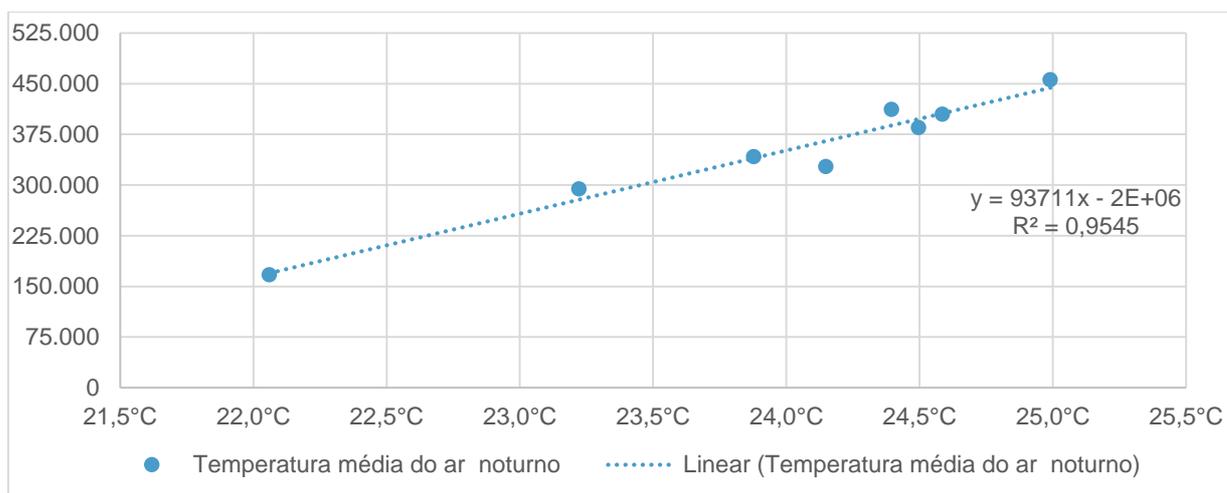
Na tabela 8 e gráfico 13 estão os valores da correlação entre o modelo e a temperatura do ar registrada. Foram correlacionadas a temperatura média e o somatório do total de pixels multiplicado pelo potencial de aquecimento.

Tabela 8 - Correlação da Temperatura média do ar noturno e soma do potencial de aquecimento

	<i>Temperatura média do ar noturno</i>	<i>Soma do potencial de aquecimento</i>
P0	22,1	167243
P1	25,0	455762
P2	24,1	327290
P3	23,9	342263
P4	24,4	412117
P5	24,6	405100
P6	23,2	294266
P7	24,5	385205
		R = 0,977

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 13 – Gráfico de dispersão entre Temperatura média do ar noturna e soma do potencial de aquecimento



Fonte: Elaboração própria.

O resultado apresentado na tabela 8 e no gráfico 13 mostra uma altíssima correlação entre as variáveis, uma sólida associação entre elas com valor de coeficiente de correlação (R) de 0,977. O modelo destaca um grande ajustamento aos dados empíricos tendo um coeficiente de ajustamento R^2 de 0,95, que significa que 95% dos valores de temperatura do ar são explicados pelo modelo de potencial de temperatura

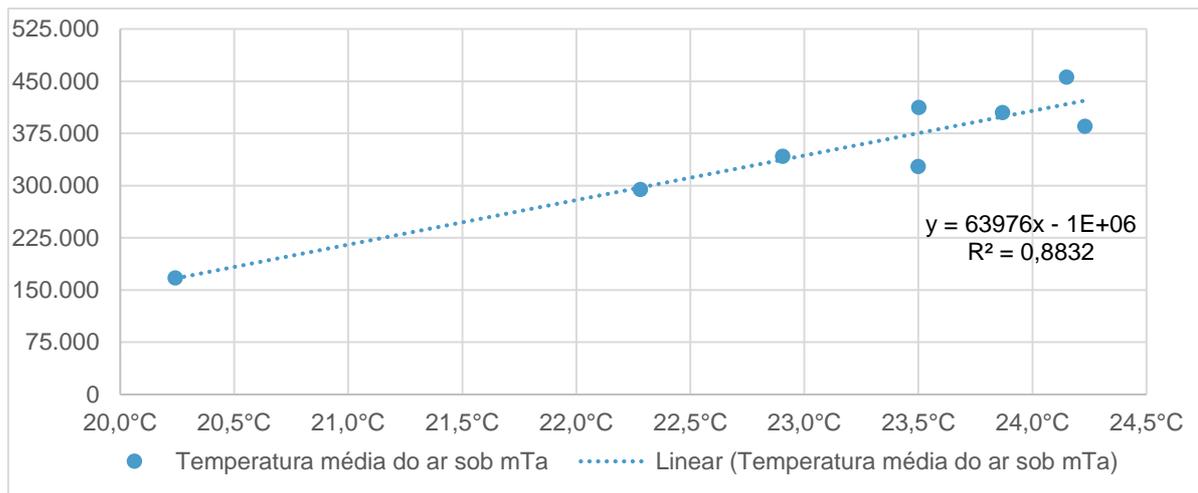
Na tabela 9 e gráfico 14 expõem o valor da correlação entre o modelo e a temperatura do ar registrada sob atuação de uma massa tropical atlântica. Foram correlacionadas a temperatura média e o somatório do total de pixels multiplicado pelo potencial de aquecimento. O resultado exposto é uma altíssima correlação $R = 0,94$ entre as variáveis e um alto ajustamento da regressão.

Tabela 9 - Correlação da temperatura média do ar noturno sob mTa e soma do potencial de aquecimento

	<i>Temperatura Média do ar noturno sob atuação</i>	<i>Soma do potencial de aquecimento</i>
P0	20,2	167243
P1	24,2	455762
P2	23,5	327290
P3	22,9	342263
P4	23,5	412117
P5	23,9	405100
P6	22,3	294266
P7	24,2	385205
		R = 0,940

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 14 – Gráfico de dispersão entre temperatura média do ar noturna sob mTa e soma do potencial de aquecimento



Fonte: Elaboração própria.

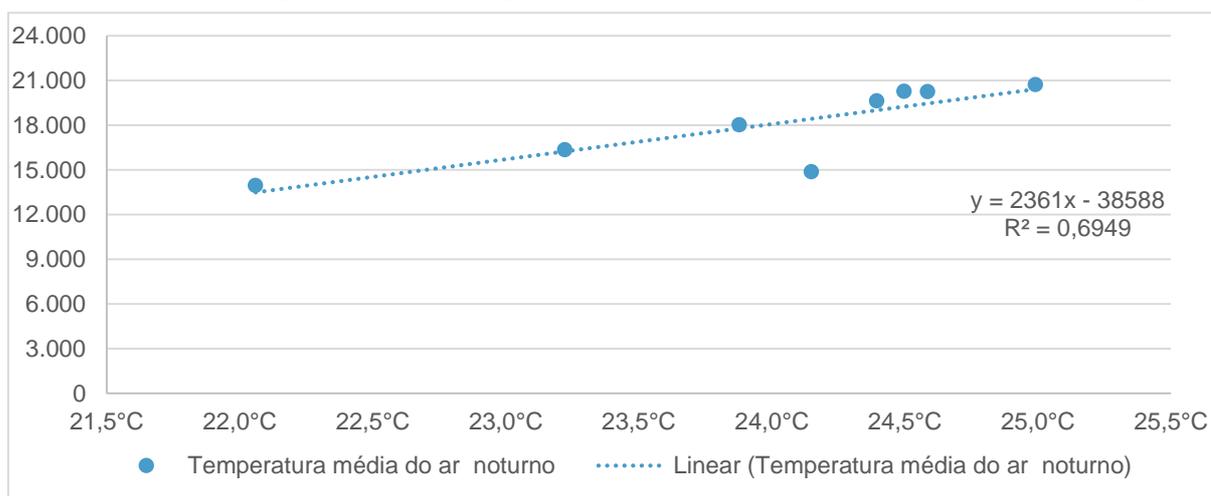
Na tabela 10 e gráfico 15 apresenta-se como a variável representando o modelo a média do valor dos seus pixels e correlaciona-se com a temperatura do ar noturno. Obtivemos um ajustamento do modelo mais moderado 0,69 contudo ainda alto.

Tabela 10 - Correlação da temperatura média do ar noturno sob mTa e a média do potencial de aquecimento dentro do raio de 100m de um ponto

	<i>Temperatura média do ar noturno</i>	<i>Média do potencial de aquecimento</i>
P0	22,1	13946
P1	25,0	20716
P2	24,1	14881
P3	23,9	18016
P4	24,4	19625
P5	24,6	20255
P6	23,2	16351
P7	24,5	20275
		R = 0,834

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 15 – Gráfico de dispersão entre temperatura média do ar noturna sob mTa e a média do potencial de aquecimento dentro do raio de 100m de um ponto



Fonte: Elaboração própria.

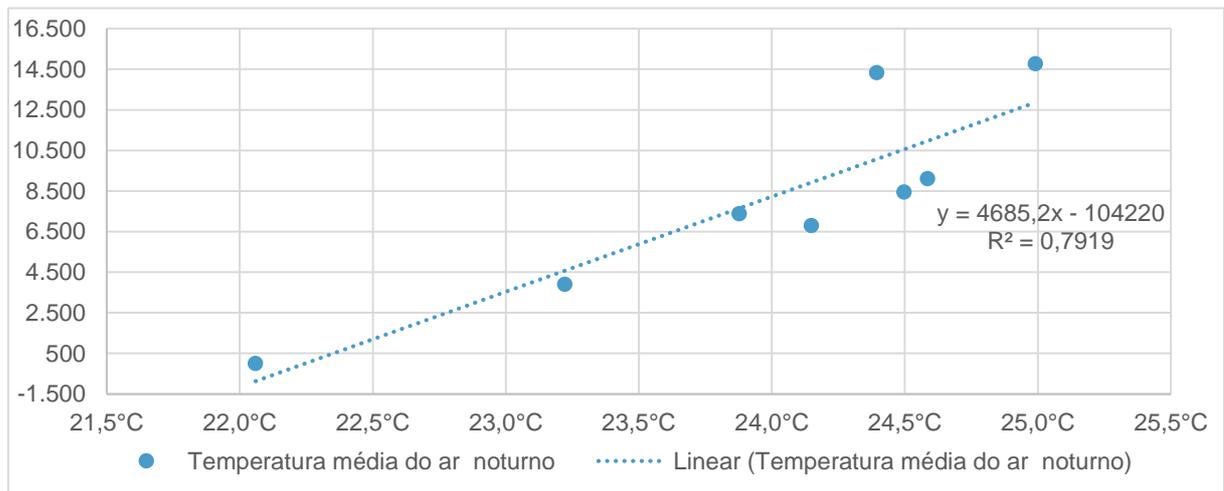
Na tabela 11 exibe a correlação da temperatura do ar noturno com o número de pixels com valores de potência de aquecimento entre 16-22 o que corresponde as classes 4 de alto potencial de aquecimento e 5 de altíssimo potencial de aquecimento.

Tabela 11 - Correlação da temperatura média do ar noturno e número de pixels de alto e altíssimo potencial de aquecimento

	Temperatura média do ar noturno	Número de pixels de alto e altíssimo
P0	22,1	0
P1	25,0	14770
P2	24,1	6797
P3	23,9	7374
P4	24,4	14326
P5	24,6	9118
P6	23,2	3900
P7	24,5	8451
		R=0,890

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 16 – Gráfico de dispersão entre temperatura média do ar noturna noturno e número de pixels de alto e altíssimo potencial de aquecimento



Fonte: Elaboração própria.

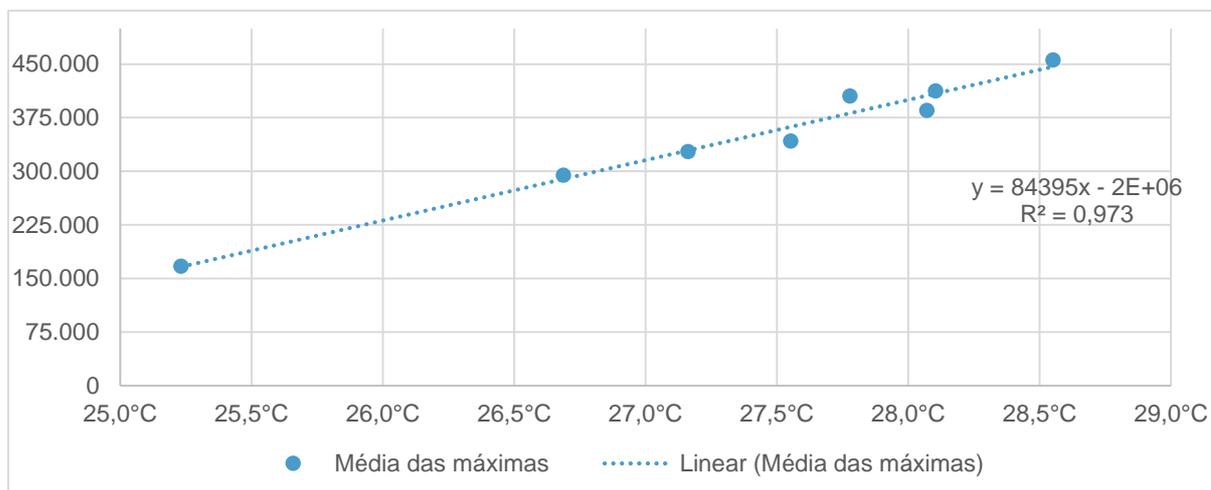
Na tabela 12 exibe a correlação da média das máximas diárias de temperatura do ar com a soma do potencial de aquecimento. Apresentando altíssima correlação entre as variáveis e ajustamento do modelo.

Tabela 12 - Correlação da média das máximas diárias de temperaturas do ar e soma do potencial de aquecimento

	Média das máximas diárias de temperaturas	Soma do potencial de aquecimento
P0	25,2	167243
P1	28,6	455762
P2	27,2	327290
P3	27,6	342263
P4	28,1	412117
P5	27,8	405100
P6	26,7	294266
P7	28,1	385205
		R = 0,986

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 16 – Gráfico de dispersão entre média das máximas diárias de temperaturas do ar noturno e a soma do potencial de aquecimento



Fonte: Elaboração própria.

Além desses valores, encontram-se fortes correlações entre as variáveis: Máxima diária sob atuação da mTa e a soma do potencial de aquecimento com coeficiente de correlação de 0,94; Entre a temperatura média do ar sob atuação da mTa e número de pixels de alto e altíssimo potencial de aquecimento de 0,811. Entre a temperatura máxima registrada, que se deu sempre sob atuação de uma mTa, em um ponto e a soma do potencial de aquecimento com R de 0,911. Entre a Média das Máximas sobre mTa e a Soma dos valores das classes alto e altíssimo potencial de aquecimento, $R = 0,813$.

Foi relacionado também o valor do potencial de aquecimento do pixel do ponto de coleta e a temperatura do ar média noturna sendo encontrado um R de 0,66 e um $R^2 = 0,437$. Confrontando o valor do pixel com a temperatura do ar noturno máxima

registrada em cada ponto tem-se um $R=0,775$ e um $R^2 = 0,600$. Validando a ideia que o aquecimento do ar em um ponto não é apenas reflexo da superfície a qual está instalado o sensor, mas também do uso e ocupação em uma área ao redor deste.

O quadro 18 exhibe os pontos ordenados dos mais quentes para os mais frios segundo o modelo de potencial térmico, temperatura média noturna e médias das máximas temperaturas noturnas diárias. Os pontos mais quentes segundo o modelo são quase idênticos ao ordenamento segundo a média das máximas com apenas inversão entre o terceiro e quarto ponto mais quente. Comparando o modelo com a temperatura média do ar também ocorre grande similaridade entre as posições. Se dividir os dados em dois grupos dos mais quentes e dos mais frios, os quatro primeiros mais quentes serão sempre P1, P4, P5 e P7 e os mais frios sempre P3, P2, P6 e P0. Os 1, 4 e 7 são também os pontos com os menores fatores de visão do céu, mostrando a importância dessa variável para o aquecimento do ar noturno

Quadro 18 – Pontos ordenados dos mais quentes para os mais frios

Posição	Modelo	Média das Máximas	Temperatura Média
1°	P1	P1	P1
2°	P4	P4	P5
3°	P5	P7	P7
4°	P7	P5	P4
5°	P3	P3	P2
6°	P2	P2	P3
7°	P6	P6	P6
8°	P0	P0	P0

Fonte: Elaboração própria

Dado o exposto destaca-se que o modelo tem altíssima correlação com a temperatura do ar noturno registrada. Tem-se uma correlação positiva entre o número de pontos no modelo com alto e altíssimo potencial de aquecimento do ar e a ocorrência de maiores valores para temperatura do ar urbano. O mesmo se dá para o agregado do valor de todos os pixels na área o somatório geral do potencial de aquecimento do ar e a temperatura urbana.

A modelagem gera um detalhamento dos elementos que mais contribuem para o aquecimento do ar, ademais confirma que a forma de uso e ocupação da terra influencia na variação da temperatura do ar urbano.

4.6 PLANEJAMENTO URBANO

Mendonça (2013) relata que o planejamento urbano no Brasil historicamente não é realizado a partir de premissas sociais e ambientais, e sim, quase que exclusivamente, a partir de premissas econômicas. Só recentemente o clima se tornou um elemento levado em consideração no planejamento urbano, principalmente devido a poluição e sua relação com dinâmica atmosférica. O autor vai lembrar que a contenção da degradação ambiental, particularmente da miséria social como parte daquela, se constitui um primeiro passo para melhoria das condições de vida da sociedade urbana.

Conforme Ugeda Júnior (2011, p.39):

A alta porcentagem de população residente na cidade, associada à dinâmica capitalista e aos interesses da especulação imobiliária, tende a gerar um crescimento desordenado com usos incompatíveis do solo na mesma área e, ocupação inadequada

Cabendo ao poder público reverter essa tendência executando o ordenamento territorial visando a maior qualidade ambiental e de vida na cidade.

Em favor do planejamento Mendonça (2003, p. 26) argumenta que:

O planejamento e intervenção no desenvolvimento das cidades de porte médio e pequeno pode, pelo próprio estágio de desenvolvimento das mesmas, serem praticamente mais eficaz que nas cidades grandes e metropolitanas. Em tais cidades os espaços de intervenção das atividades de planejamento são bem menos consolidados, particularmente no que concerne à estrutura urbana, que naqueles das cidades de porte superior.

Ugeda Júnior (2011) destaca que já existe uma legislação que impõe a necessidade de um planejamento urbano como ferramenta para uma melhor qualidade de vida urbana. O artigo 30 da constituição “Compete aos Municípios”, inciso VIII, “promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano” (BRASIL, 1988). Já o artigo 182 enuncia que “A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo, ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes” (BRASIL, 1988).

Especificamente em Ubá temos como legislação o Plano Diretor de Ubá (Lei complementar N° 0.99, de 17 de Janeiro de 2008). No Artigo 3° dos princípios fundamentais inciso III temos “ a garantia da qualidade de vida da população” e no IV

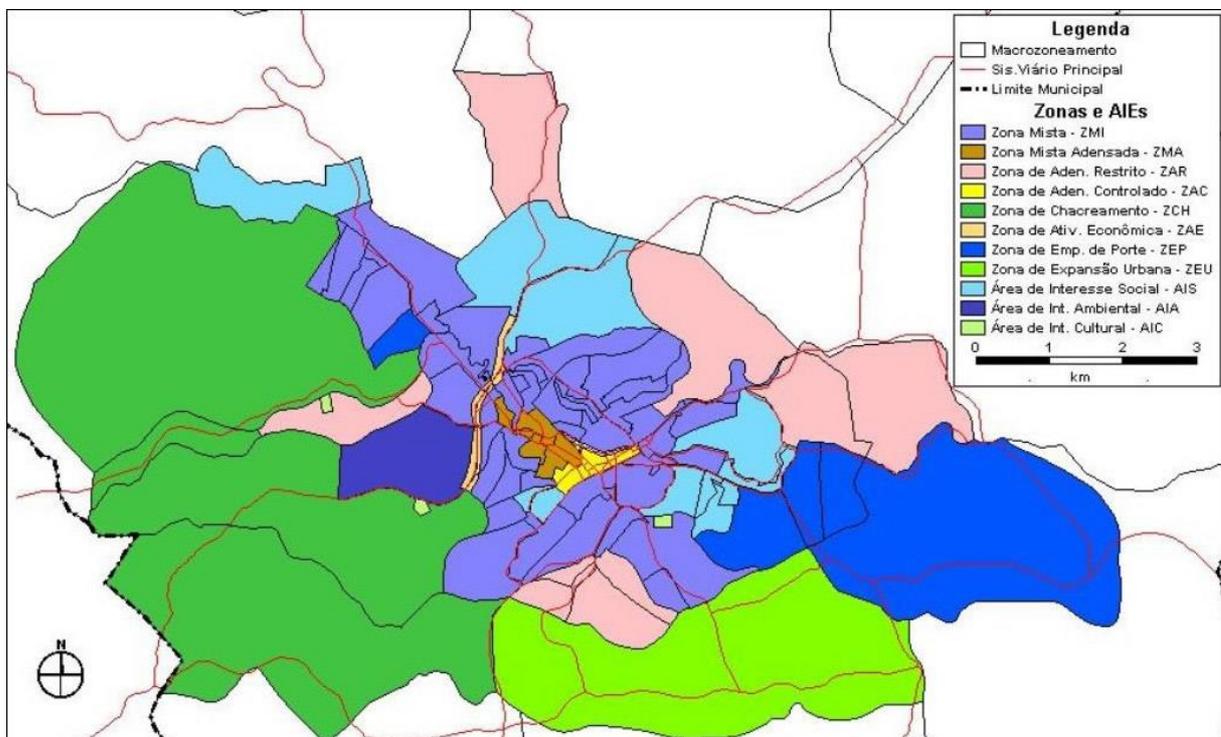
“o incremento do bem estar da comunidade, para as gerações atual e futura” (UBÁ, 2018)

Como propostas ao planejamento com finalidade de mitigação de campos térmicos e conseqüentemente gerar maior qualidade de vida, algumas ações podem ser indicadas.

Seguir o determinado no plano diretor em seu Macrozoneamento urbano, Mapa 27, para o maior controle do uso do solo urbano utilizando como ferramentas porcentagem da ocupação dos terrenos, número de pavimentos permitido, área mínima dos lotes e pela taxa de permeabilidade.

Principalmente nesse trabalho ficou claro a importância da taxa de permeabilidade. Segundo o plano diretor a taxa de ocupação é de 80% para residenciais, contudo não estabelece que um percentual desses 20% restantes sejam permeáveis. Dado perspectiva climática seria interessante ao menos 10% permeáveis. Essa medida inclusive entrou em vigor recentemente conforme lei complementar municipal nº176, de 12 de fevereiro de 2015.

Mapa 27 - Macrozoneamento Urbano Plano Diretor Municipal de Ubá



Fonte: UBÁ (2018)

Intensificação da vegetação viária por toda cidade, afim de ampliar o sombreamento das vias. Preferencialmente implantar nas áreas onde não é possível criação de áreas verdes, como na Zona Adensada e Zona mista na região central.

Algumas ruas já apresentam vegetação tendo apenas que intensificar e torná-las menos esparsas. Como exemplo, seria a Avenida Beira Rio, apesar de contar com vegetação viária, até acima da média em comparação com o restante das vias, elas deveriam ser ainda mais densas de forma a criar um corredor sombreado, diminuindo a temperatura de superfície do asfalto e conseqüentemente do ar, gerando maior conforto para motoristas, pedestre e população residente na área.

A calha do Ribeirão Ubá naturalmente forma um corredor de circulação de ventos. Por esse motivo as suas margens um zoneamento eficiente deve restringir o número de pavimentos dos edifícios com objetivo de que a brisa penetre mais facilmente para o interior do bairro. Os edifícios mais próximos deveriam ter menor número de pavimentos e esse limite ir aumentando gradativamente na direção oposta a margem, em uma configuração semelhante a uma escada. Isso permitiria maior circulação do ar. Idealmente seria interessante mesclar edifícios com lojas mais baixas fazendo dentes na quadra o que otimizaria ainda mais o resfriamento dos edifícios e a circulação dos ventos.

Dado a grande capacidade de edifícios industriais aquecerem o ar, deve-se regulamentar que o mesmo seja cercado por vegetação arbórea, pois conforme Mascaro (2002) a vegetação tem grande efetividade em resfriar superfícies verticais, além de ser uma barreira natural ao som.

Dar preferência para pavimentação de concreto frente ao asfalto nas vias arteriais, por seu melhor comportamento térmico e durabilidade. Nas vias locais e coletoras manter os bloquetes de concreto, comuns na cidade, nos locais existentes e em novas áreas de expansão dado seu melhor comportamento térmico em relação ao pavimento asfáltico. O asfalto sempre que possível deve ser evitado. Em estacionamentos o mesmo deveria ser evitado e ter seu uso regulado, além de conjugado com áreas permeáveis como pavimento de concreto misto com grama.

Criação de áreas verdes como parques e praças, a criação desses espaços além dos benefícios térmicos, amplia a água que infiltra no solo, minimizando enchentes e deslizamentos. Além de ser áreas de lazer. Existe uma dificuldade de criação desses espaços nas zonas mais consolidadas da cidade, mas tais espaços devem ser incentivados nas zonas de expansão urbana, descritas no plano diretor, além de implantada conjuntamente com os loteamentos nas áreas de interesse social. As áreas verdes devem ser conjugadas com vegetação viária de modo a minimizar o potencial de aquecimento do ar gerado pelo adensamento causado pelo grande

parcelamento do solo, e conseqüente diminuto tamanho de lotes, nas áreas de interesse social.

Estímulos para o uso de materiais construtivos com melhores características térmicas. Na esfera municipal eles podem vir conjugados com outros requisitos ambientais como reaproveitamento de água e energia solar sob a forma de desconto no IPTU. Esse incentivo é essencial para plantas industriais nas zonas mistas e na zona de atividade econômica.

Restrições a canalizações de cursos d'água que através da evaporação resfriam o ar. Além disso revitalização das matas ciliares que cercam os cursos d'água.

Contudo como Ugeda Júnior (2011) observa deve-se reconhecer que a existência de um clima urbano não é necessariamente negativa ou degradante da qualidade ambiental urbana, mas quando intencionalmente orientada através do planejamento e gestão urbana pode na verdade tornar a urbanização um fator de melhora das condições ambientais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho buscou responder a duas indagações básicas feita por Monteiro (1990, p.13) “a partir de que porte e grau hierárquico uma cidade brasileira passa a oferecer condições de geração de um clima urbano?” e “quais as relações internas entre os atributos geocológicos do sítio, morfologia e funções urbanas nessa definição”

O subsistema térmico como colocado por Monteiro (1990) é uma coparticipação das transformações energéticas introduzidas pela ação humana na cidade alterando, deformando ou ampliando aquela entrada natural no sistema. O estudo do canal térmico não está apenas atrelado a ideia de conforto térmico, mas sobretudo nas implicações termo-dinâmicas nos outros canais. Como as alterações geradas na ventilação urbana e concentração de poluentes na interface com subsistema físico-químico e aumento de precipitações ou redução da umidade relativa do ar durante a estação seca em relação ao subsistema hidrometeorológico.

Buscou-se então seguindo o conselho de Monteiro (1990, p. 14), “compreender as relações dos fatos termodinâmicos básicos do ar dentro da cidade com os fatos específicos da própria condição urbana”. Para isso o modelo de potencial térmico foi de grande ajuda. Na medida que permite integrar diversas variáveis que contribuem para o aquecimento do ar urbano modelando os almejados elementos naturais que compõe o sítio urbano e elementos construídos pelo homem.

O modelo se caracterizou por ser uma ferramenta poderosa que pode ser replicado em diferentes localidades. Além disso, o modelo é altamente flexível permitindo incorporar sempre novas variáveis. Sua construção pode ser feita do zero, sem a necessidade de levantamentos anteriores, de acordo com a metodologia adotada nesse trabalho.

A modelagem das superfícies urbanas evidenciou que áreas com grande índice de impermeabilização, poucas áreas verdes, elevado parcelamento, grande coeficiente de ocupação, altíssimo aproveitamento do lote, alto percentual de coberturas metálicas ou de fibrocimento e elevada área com cobertura asfáltica geraram áreas com alto e altíssimo potencial de aquecimento do ar.

Os resultados da modelagem foram amplamente validados pelas observações empíricas feitas.

Os dados noturnos de temperatura do ar registrados com as estações fixas durante janeiro e fevereiro de 2018 mostraram que uma ilha de calor noturna classificada como forte ou muito forte ocorreu em 49% das noites observadas.

A maior diferença registrada entre a temperatura do ar no ambiente urbano e rural foi de 8,4°C. Sendo as maiores diferenças de temperatura do ar noturno no período sob atuação da massa tropical atlântica, sendo os picos entre 30 minutos e 1h30 após o pôr do sol.

As diferenças térmicas foram poucos significativas entre os pontos sob atuação da ZCAS gerando uma má identificação dos espaços micro e topoclimáticos.

Foi possível identificar uma diferença topoclimática entre o ponto 6 e os demais pontos urbanos. O ponto 6, alocado em um topo de morro, registrou temperaturas do ar significativamente mais baixas, refletindo a influência da circulação do vento sem barreiras nesse ponto, o que favoreceu o resfriamento por convecção.

As diferenças urbano-rural e intra-urbanas foram validades estatisticamente utilizando a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey. O que não deixa dúvidas que há, estatisticamente, uma diferença no comportamento térmico dos pontos urbanos e rurais. E que permite afirmar que a cidade de Ubá possui um clima próprio que a diferencia do seu entorno rural.

O ajustamento da modelagem aos dados noturnos através do coeficiente de correlação atingiu valores de 0,977, indicando uma altíssima correlação. O ajustamento do modelo captado pelo R^2 foi de 0,95, o que aponta um grande grau de explicação da temperatura do ar pelo modelo.

Os resultados tanto do modelo como dos dados do ar registrados apontaram para o ponto 1, um bairro residencial com grande adensamento, como o ponto mais quente analisado. O desmitifica a ideia de um contraste térmico intraurbano centro-periferia, dado a forma adensada dos bairros afastados pode-se ter um núcleo de aquecimento se estendendo do centro até bairros mais periféricos ou a formação de focos de calor em áreas periféricas.

Registrou-se altas temperaturas do mesmo modo no ponto 7 que possui características similares ao ponto 1 na forma de ocupação, em áreas com grande presença de galpões industriais como ponto 4 ou muito verticalizadas e centrais como ponto 5.

Os pontos com menor potencial de aquecimento foram áreas com grande índice de permeabilidade do solo e presença de vegetação, pontos 0, 2, 3 e 6.

De acordo com os resultados encontrados, Ubá possui campos térmicos diferenciados em seu interior. Além disso, foi registrado em todos os pontos, principalmente sobre atuação da mTa, uma diferença positiva de temperatura do ar da cidade em comparação ao ar urbano, evidenciando a formação de uma ilha de calor no interior da cidade. Este fenômeno não é apenas microclimático, ou topoclimático[1], mas atinge a escala Mesoclimática se manifestando em toda a cidade. Mesmo que, em uma situação Topoclimática, como o ponto 6, o fenômeno tenha uma menor intensidade, ainda é captada sua atuação. Logo, a presença de um gradiente térmico positivo em toda a cidade seria a caracterização fiel do fenômeno de ilha de calor.

Dado o exposto destaca-se a importância de políticas de gestão e planejamento urbanas afim de estabelecer critérios de uso e ocupação de modo minimizar a criação de microclimas desconfortáveis.

Esse trabalho é um pequeno diagnóstico do clima urbano de Ubá. Busca-se com ele fomentar a discussão sobre a qualidade ambiental, sendo o clima uma componente deste, na cidade de Ubá e nas demais cidades da zona da mata mineira que carecem de estudos ambientais em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas**. 3.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005.

ALBINO, A. A. **Uma abordagem evolucionária do APL moveleiro de Ubá: competitividade e políticas públicas estratificadas**. 2009. 176f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009.

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. 374 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AMORIM, M.C.C.T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. **Revista Geosul**, Florianópolis, v.20, n.39, p. 64-82, 2005.

AMORIM, M.C.C.T.; SANT' ANNA NETO, J.L.; DUBREUIL, V. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago, n.43, p.65-80, 2009.

AMORIM FILHO, O.B.; RIGOTTI, J. I. R.; CAMPOS, J. Os níveis hierárquicos das cidades médias de Minas Gerais. **Revista RA'E GA**, Curitiba, n. 13, 7-18, 2007.

ANDRADE, M.C. de. Aspectos geográficos da região de Ubá. **Anais da associação dos geógrafos brasileiros**. São Paulo: AGB, Avulso n. 1, 1961.

ASSIS, D. C. et al. Mensuração de ilhas de calor em Juiz de Fora com uso de transecto móvel. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: UFGO, 2016. Disponível em: <[http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(64\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(64).pdf)> Acesso em: 20 de fev. de 2017.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J.A. Bases conceituais em climatologia geográfica. **Mercator**, Fortaleza, v.8, n.16, p.255-261, 2009.

BERTALANFFY, L. von. **Teoria geral dos sistemas: Fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. 8ª ed. Petrópolis: Vozes, 2015.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de mar. de 2012. **Novo Código Florestal**. Brasília, DF. mar 2012.

CANTAT, O. L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. **Revue norois**, Viena, n. 191, p. 75–102, mar. 2004.

CARDOSO, C. A. *et al.* **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ**. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 2, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000200011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 mar 2017

CASTILHO, F.J.V. **Abordagem geográfica do clima urbano e das enfermidades em São Jose do Rio Preto/SP**. 2006. 228 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Campus Rio Claro, Rio Claro, 2006.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**: São Paulo: Contexto, 1991.

COLLISCHONN, E.; FERREIRA, C.V.O. Cômputo do fator de visão do céu em 10 diferentes ambientes interurbanos da cidade de Pelotas-RS In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRAFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: UFGO, 2016. Disponível em: <[http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(43\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(43).pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

COLLISCHONN, E.; FERREIRA, C. V. O. Clima intraurbano de Pelotas/RS – Uma análise a partir de registros contínuos. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, 12., 2017, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: URGs, 2017. Disponível em: <<http://www.enanpege.ggf.br/2017/anais/arquivos/GT%2039/2114.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2018.

CORRÊA, R. L. Hinterlândias, hierarquias e redes: uma avaliação da produção geográfica brasileira. In: CARLOS, A. F. A. (org.). **Os caminhos da reflexão sobre a cidade e o urbano**. São Paulo: Edusp, 1994. p.323-359.

CORREIA, T. B. De Vila Operária a cidade-companhia: As aglomerações criadas por empresas no vocabulário especializado e vernacular. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Recife, v.3, n. 4, p.83-98, maio 2001;

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CRUZ, G. C. F. **Clima Urbano de Ponta Grossa-PR: uma abordagem da dinâmica climática em cidade média subtropical brasileira**. 2009. 368 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DUBREUIL, V. *et al.* Utilização de imagens infravermelhas do satélite Landsat para cartografar a ilha de calor urbana em Renner – França. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRAFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: UFGO, 2016. Disponível em: <[http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20\(76\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_3/trabalho%20(76).pdf)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

ESRI. **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**. Disponível em: <http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao_/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf>. Acesso em: 10 de jan. 2018.

FARIA, M.M. **Compartimentação geomorfológica e morfometria da Bacia do Rio Pomba, MG/RJ**. 2009. 58f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

FERREIRA, C.C.M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 14, p. 50-75, jan./jul. 2014.

FERREIRA, F.L; PRADO, R.T.A. Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, 2003.

FIALHO, E. S. As repercussões da expansão da mancha urbana na dinâmica climática local de Viçosa – MG. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, V.15, n.2, 301-323, jul./dez. de 2015.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 2009. 279 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2.ed. São Paulo: Oficina dos textos, 2007.

GARCÍA, F.F., ÁLVAREZ, D.R. Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana. **Revista Estudios Geográficos (online)**. v.69, n.265, p.495-518, 2008.

GARCIA, R.A.; NOGUEIRA, M. **A inserção das cidades médias mineiras na rede urbana de Minas Gerais**. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/6519750.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficinas de textos, 2010.

HANN, J. **Handbuch der klimatologie**. Stuttgart: Verlag Von J. Angelhorn, 1883.

HOBO. **HOBO 64K Pendant® Temperature/Alarm (Waterproof) Data Logger**. <<http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ua-001-64>>. Acesso em: 15 jun. 2016a.

IBGE. **Censo demográfico 1950/2010**. Disponível em: <<http://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>>. Acesso em: 15 jun. 2016a.

IBGE. **Regiões de influência das cidades – 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/regic.shtm?c=7>>. Acesso em: 15 nov. 2016b.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

INMET. **Glossário**. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=glossario>. Acesso em: 15 ago. 2016.

IPEA, IBGE, UNICAMP, SEADE. **Caracterização e tendências da rede urbana do Brasil: redes urbanas regionais: Sudeste**. Brasília: IPEA, 2001.

ITATIAIA. Nossa História. Disponível em: <<https://www.cozinhasitatiaia.com.br/sobre-a-empresa/nossa-historia/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

JARDIM, C. H.; PEREZ FILHO, A. A relação controle-atributo na definição do clima urbano: exemplo de interação sistêmica. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS-SETENTA ANOS DE AGB: AS TRANSFORMAÇÕES DO ESPAÇO E A GEOGRAFIA NO SÉCULO XXI, 2004, Goiânia, **Anais...** Goiânia: AGB/IESA/UFG, 2004. CD-ROM

JARDIM, C. H.; FERREIRA, M. A correlação dos fatos geográficos em climatologia a partir da noção de “sítio” e situação. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005. **Anais eletrônicos...** São Paulo: USP, 2005.

Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Climatologia/06.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. 338 f. Dissertação (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências da UNICAMP, Campinas, 2007.

JARDIM, C.H. Variações da temperatura do ar e o papel das áreas verdes nas pesquisas de climatologia urbana. **Revista de C. Humanas**, Viçosa, V.10, n.1, p.9-25, jan./um. 2010.

KLEGER, J.J. **O clima de cidades pequenas: configuração urbano-rural com uso de transectos móveis em Agudo/RS**. 2016. 152f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

KIM, S. et al. Comparison of spatial interpolation techniques for predicting climate factors in Korea. **Forest Science and Technology**, Seul, v.6, n.2, p. 97-109, 2010.

KOESTLER, A. Beyond Atomismo and Holism - the Concept of the Holon. **Perspectives in Biology and Medicine**, Baltimore, v.13, n.3, p. 131-154, 1970.

- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 11. ed. São Paulo: Perspectiva: 2011.
- LANDESBURG, H.E. **The Urban Climate**. New York: Academic Press, 1981.
- LOMBARDO, M.A. **Ilhas de Calor nas Metrôpoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: HUCITEC, 1985.
- LOBODA, C. R. & ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Revista Ambiência**, Guarapuava, V.1n.1, p.125-139, Jan./jul. 2005.
- MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação**: estratégias para minimizar seu consumo. 2ª ed. São Paulo: Projeto, 1991.
- MASCARÓ, L. R. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Sagra: D.C. Luzzatto, 1996.
- MASCARÓ, L.R.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação urbana**. Porto Alegre: UFRGS FINEP, 2002.
- MASHIKI, M. Y. **Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.
- MATOS, R. **Aglomeramentos urbanos, rede de cidades e desconcentração demográfica no Brasil**. Disponível em:
< <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/960>> Acesso em: 15 jan. 2017.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MENDONÇA, F. LONDRINHA. Clima e planejamento urbano em Londrina: Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo de campo termohigrométrico. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (orgs.) et al. **O Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
- MONTARO, M.; GERACE, A; Lunsford, A.; Reuter, D. Stray Light Artifacts in Imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor. **Remote Sens**, Basel, v.6, n.11, p.10435-10456, 2014.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1976. 181 p. (Série Teses e Monografias nº 25).
- MONTEIRO, C.A.F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. **Geosul**, Florianópolis, n.9. 1990. p. 7-19
- MONTEIRO, C. A. F. **Clima e Excepcionalismo**: Conjecturas sobre o Desempenho da Atmosfera como Fenômeno Geográfico). Florianópolis: UFSC, 1991.

MONTEIRO, C.A.F. O estudo geográfico do clima. **Cadernos Geográficos**, Florianópolis, n.1, p.1-73, mai. 1999.

MONTEIRO, C.A.F. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (orgs.) et al. **O Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, C.A.F. A Climatologia Geográfica no Brasil e a Proposta de um Novo Paradigma. In: MONTEIRO, C.A.F. (Org.) et al. **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

MOREIRA, R. **Para onde vai o pensamento geográfico?** Por uma epistemologia crítica. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2014.

OLIVEIRA, D.E. **Participação dos sistemas atmosféricos na gênese e ritmo das chuvas na bacia do Rio Preto, MG/RJ – anos de 2006, 2007 e 2008**. 2016. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2016.

OLIVEIRA, P. R. S. de. et al. **Cadeia produtiva da movelaria: polo moveleiro de Ubá**. Viçosa, MG: U.R. EPAMIG ZM, 2010.

PAULO, M.L.S.; ALVES, R. S. Variação termo-higrométrica nos meses de verão ao longo do percurso Ponte Nova-Ubá, na zona da Mata Mineira. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, V.15, n.2, 381-396, jul./dez. de 2015.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2 ed. Londres, Methuen & Co. Ltd, 1987.

OKE, T.R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. Disponível em: <https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1250.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2018.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and applied climatology**, Viena, v. 84, n. 1–3, p. 179–190, 2006.

OKE, T.R; STEWART, I.D. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v.93, n.12, p. 1879-1900, 2012.

ORTIZ, G.F. O Clima Urbano de Cândido Mota/SP: análise do perfil térmico e higrométrico em episódio de verão. 2011. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2011.

OSAKI, C.M.N. **Adaptação de um modelo simplificado para verificação da influência da geometria urbana na formação de ilha de calor noturna**. 2016. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

PÉDELABORDE, P. **Introduction à l'étude scientifique du climat**. Paris: SEDES, 1983.

PIMENTEL, F. O. **Clima Urbano: O uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora – MG.** 2017. 146f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

QUINA, R.R. **Análise da influência de condicionantes geoambientais e urbanos sobre o comportamento térmico do município de Viçosa-MG, durante o período de Verão de 2014/15 e Inverno de 2015.** 2016. 105 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ROCHA, M.V.; SOUZA, L.C L.S., CASTILHO, F. J. V. **Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano.** Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/17890>>. Acesso em: 01 out. 2014.

SANTOS, A. R. et al. **Sensoriamento Remoto no ArcGis 10.2.2 Passo a passo: Processamento de Imagens Orbitais – Volume 1.** Alegre: CAUFES, 2014.

SANTOS, M. **Manual de geografia urbana.** São Paulo: Hucitec, 1981.

SANTOS, M.. **A urbanização brasileira.** 2a.ed. São Paulo: Hucitec, 1993.

SANTOS, V.J. **Episódios Pluviais Intensos: Um estudo de caso sobre o município de Ubá/MG.** 2013. 116 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SANTOS, V.J. **Fragilidade ambiental à erosão laminar na bacia hidrográfica do córrego São Domingos, em Ubá/MG.** 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SANT'ANNA NETO, J.L. Decálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia.** Presidente Prudente, v.1. n.1, p. 43-60, 2005.

SANT'ANNA NETO, J.L. As matrizes da construção da climatologia geográfica brasileira. In: MONTEIRO, C.A.F. (Org.) et al. **A construção da climatologia geográfica no Brasil.** Campinas: Alínea, 2015.

SONNTAG, R. E. et al. **Fundamentos da termodinâmica.** 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

SORRE, M. **Le Climat.** In: SORRE, M. Les Fondements de la Géographie Humaine. Paris: Armand Colin, 1951. Chap. 1, p.13-43.

SORRE, M. **Fundamentos Biológicos de la Geografia Humana: Ensayo de una Ecología del hombre.** Barcelona: Juventud, 1955.

TEIXEIRA, D.C.F. **O Clima Urbano de Rancharia (SP).** 2015. 217f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista *campus* Presidente Prudente - SP, Presidente Prudente, 2015.

TSO, C.P. et al. An improvement to Energy Balance Model for Urban Thermal Environment Analysis. **Energy and Buildings**, n.14, p.143-152, 1990.

UBÁ. **Lei Complementar Nº 99, de 17 de Janeiro de 2008**. Institui o Plano Diretor do Município De Ubá/Mg. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-uba-mg>> Acesso em: 20 mai. 2018.

UGEDA JÚNIOR, J. C. **Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP**. 2011. 383f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista *campus* Presidente Prudente - SP, Presidente Prudente, 2011.

VALVERDE, O.; Estudo regional da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro. 1958.

VIANNA, Y.C.G. et al. **Comparativo entre a geometria urbana e sua reposta térmica em duas vias na cidade de Juiz de Fora – MG**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, 12., 2017, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: URGS, 2017. Disponível em: <<http://www.enanpege.ggf.br/2017/anais/arquivos/GT%2039/2114.pdf>>. Acesso em: 1 jan. 2018.

VOOGT, J.A.; Oke, T. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, 86, p.370-384, 2003.

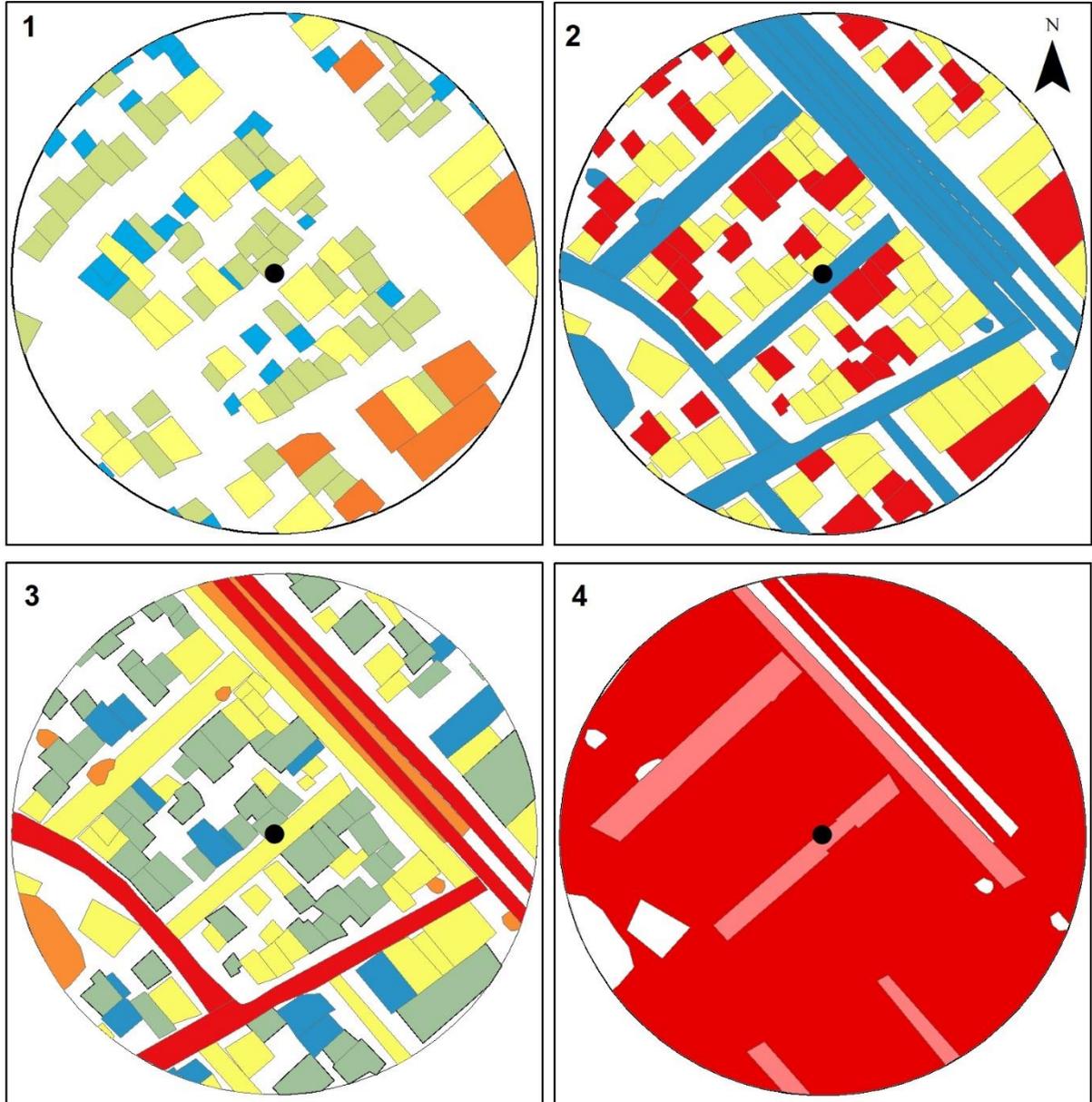
ZAVATTINI, J. A. O Paradigma da análise rítmica e a climatologia geográfica Brasileira. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 25, n. 3, p. 25-43, 2000.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M.N. **Climatologia geográfica: Teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.

ZAVATTINI, J. A. A dinâmica atmosférica e análise rítmica: A contribuição do brasileiro Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro à França de Pédelaborde e à Itália de Pinna. In: MONTEIRO, C.A.F. (Org.) et al. **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

APÊNDICE I

Mapa temático - Ponto 1



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m

1 - Massa Construída

- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

2 - Emissividade

- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

3 - Albedo

- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

4 - Impermeabilidade

- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

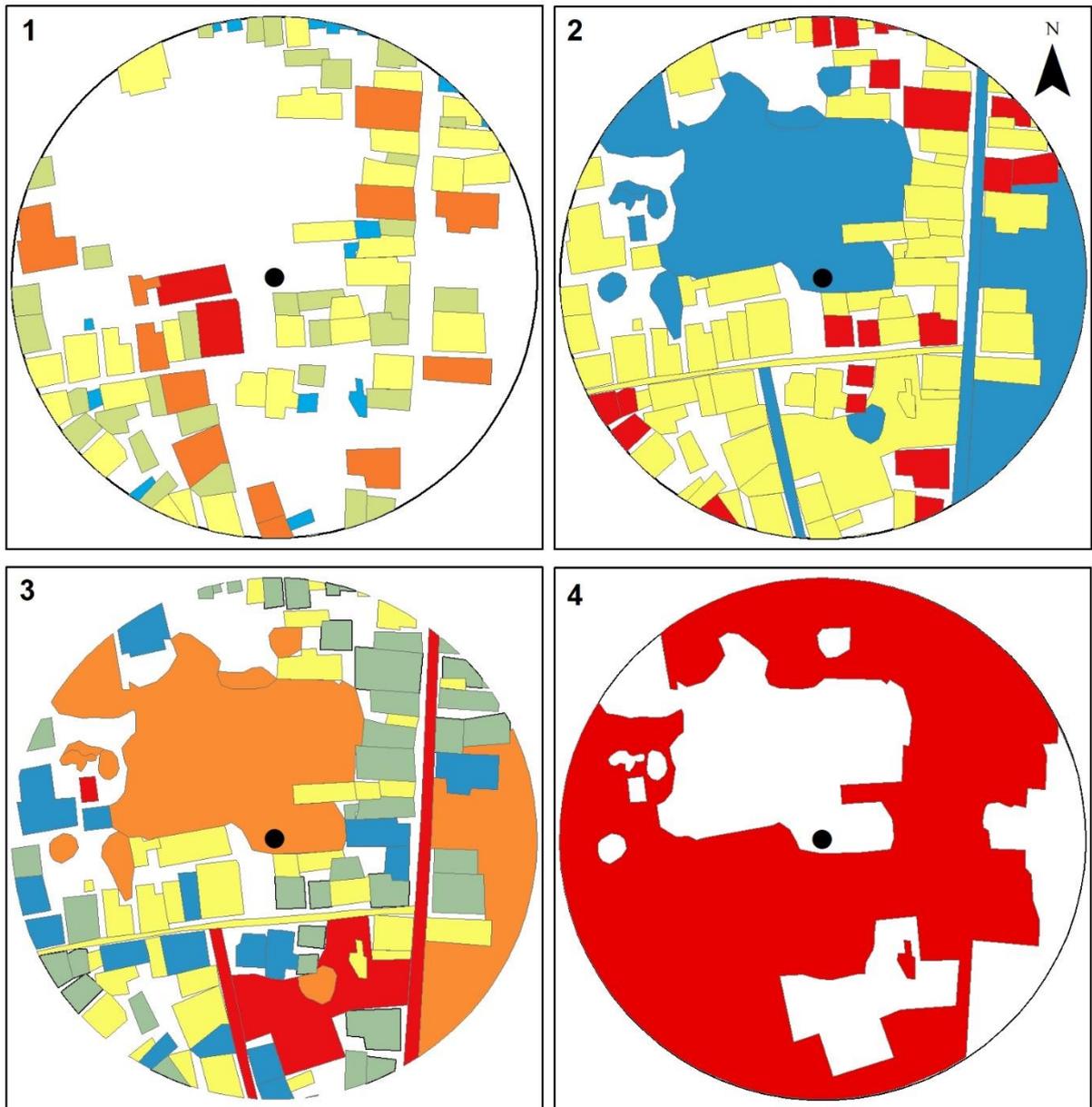
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Mapa temático - Ponto 2



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m

1 - Massa Construída

- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

2 - Emissividade

- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

3 - Albedo

- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

4 - Impermeabilidade

- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

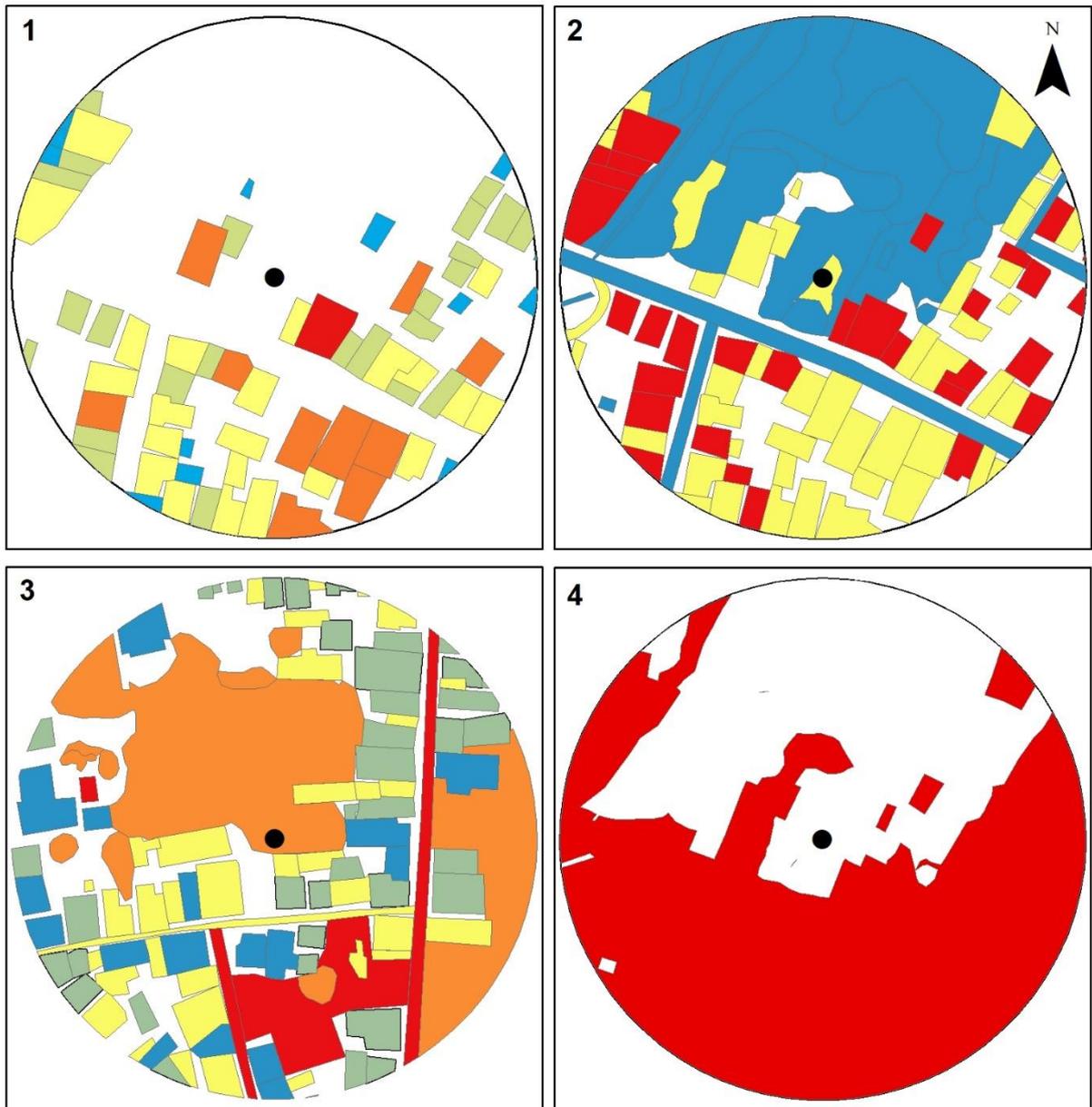
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Mapa temático - Ponto 3



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m

1 - Massa Construída

- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

2 - Emissividade

- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

3 - Albedo

- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

4 - Impermeabilidade

- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

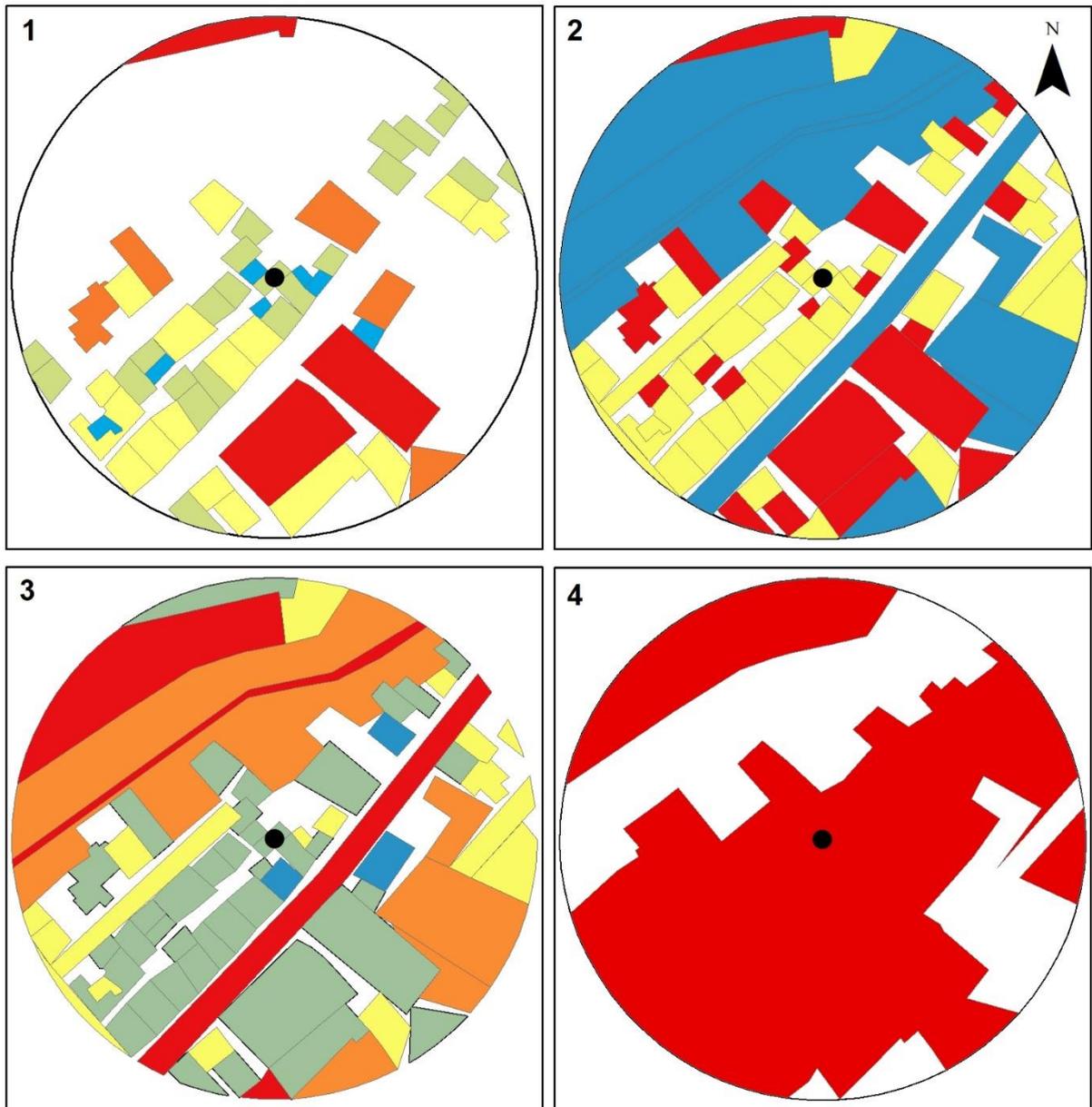
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Mapa temático - Ponto 4



Legenda

● Ponto de coleta

□ Buffer 100m

1 - Massa Construída

- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

2 - Emissividade

- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

3 - Albedo

- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

4 - Impermeabilidade

- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

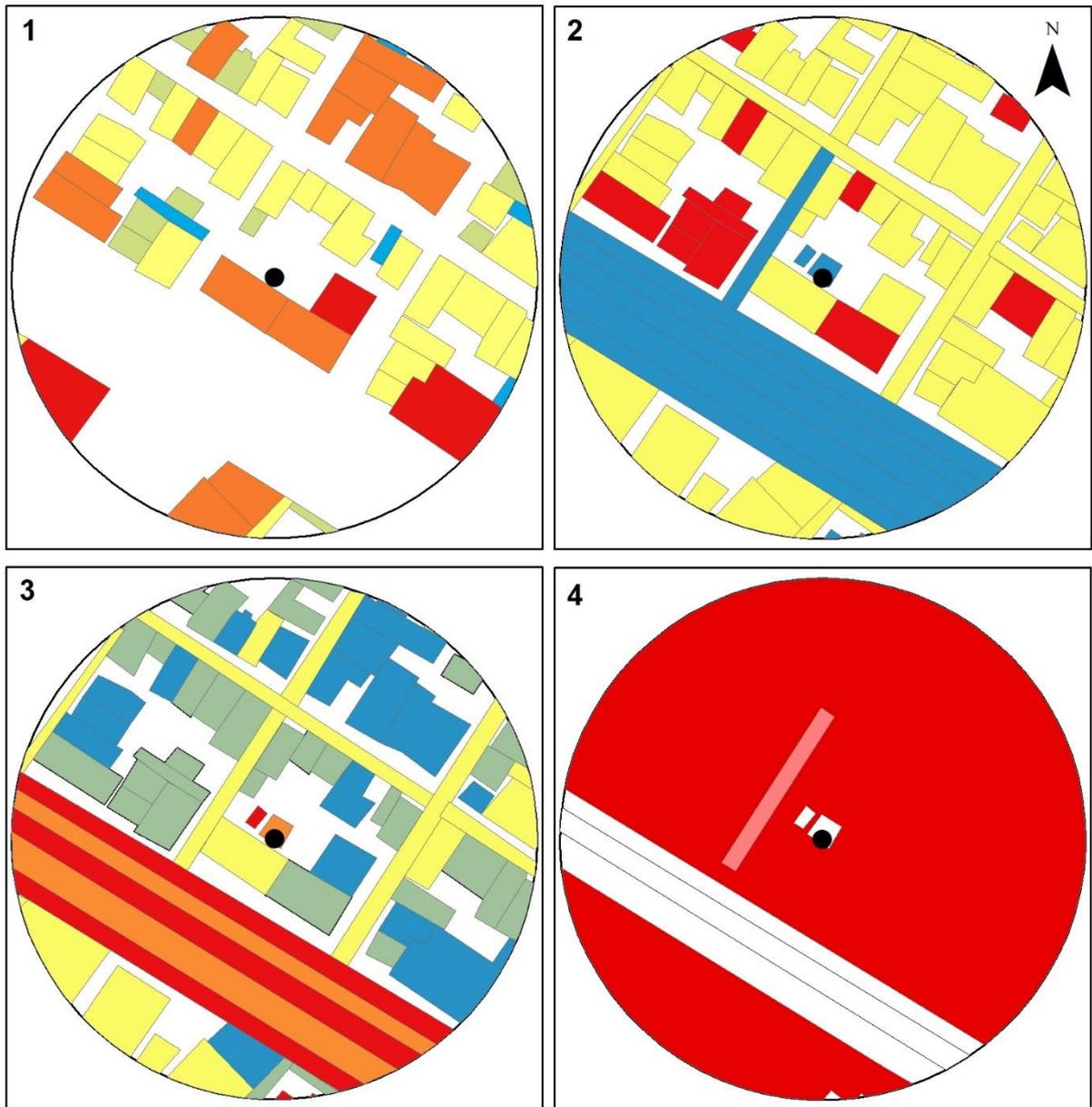
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Mapa temático - Ponto 5



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- 1 - Massa Construída**
- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

- 2 - Emissividade**
- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

- 3 - Albedo**
- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

- 4 - Impermeabilidade**
- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

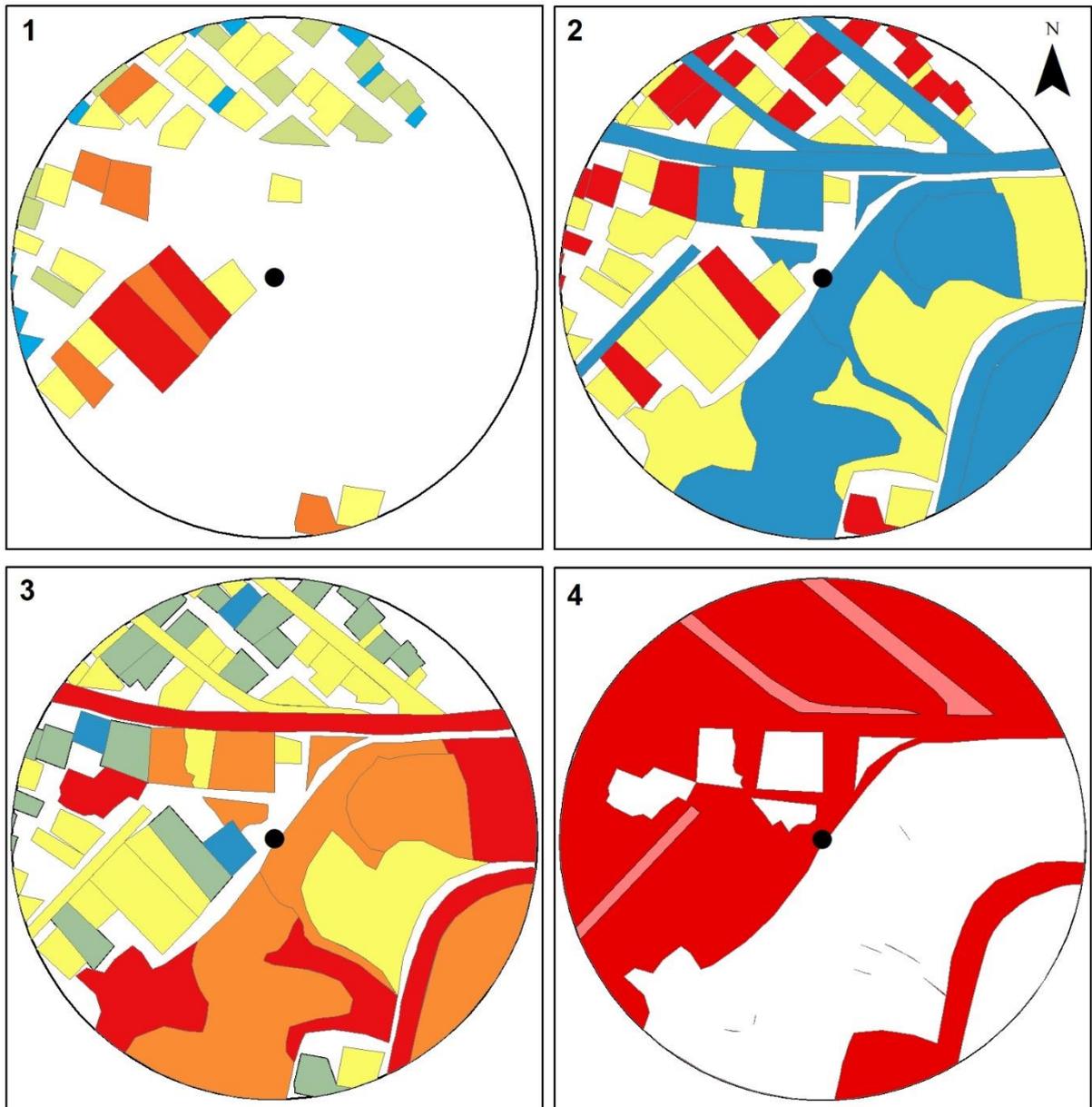
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Mapa temático - Ponto 6



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m
- 1 - Massa Construída**
- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

- 2 - Emissividade**
- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

- 3 - Albedo**
- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

- 4 - Impermeabilidade**
- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

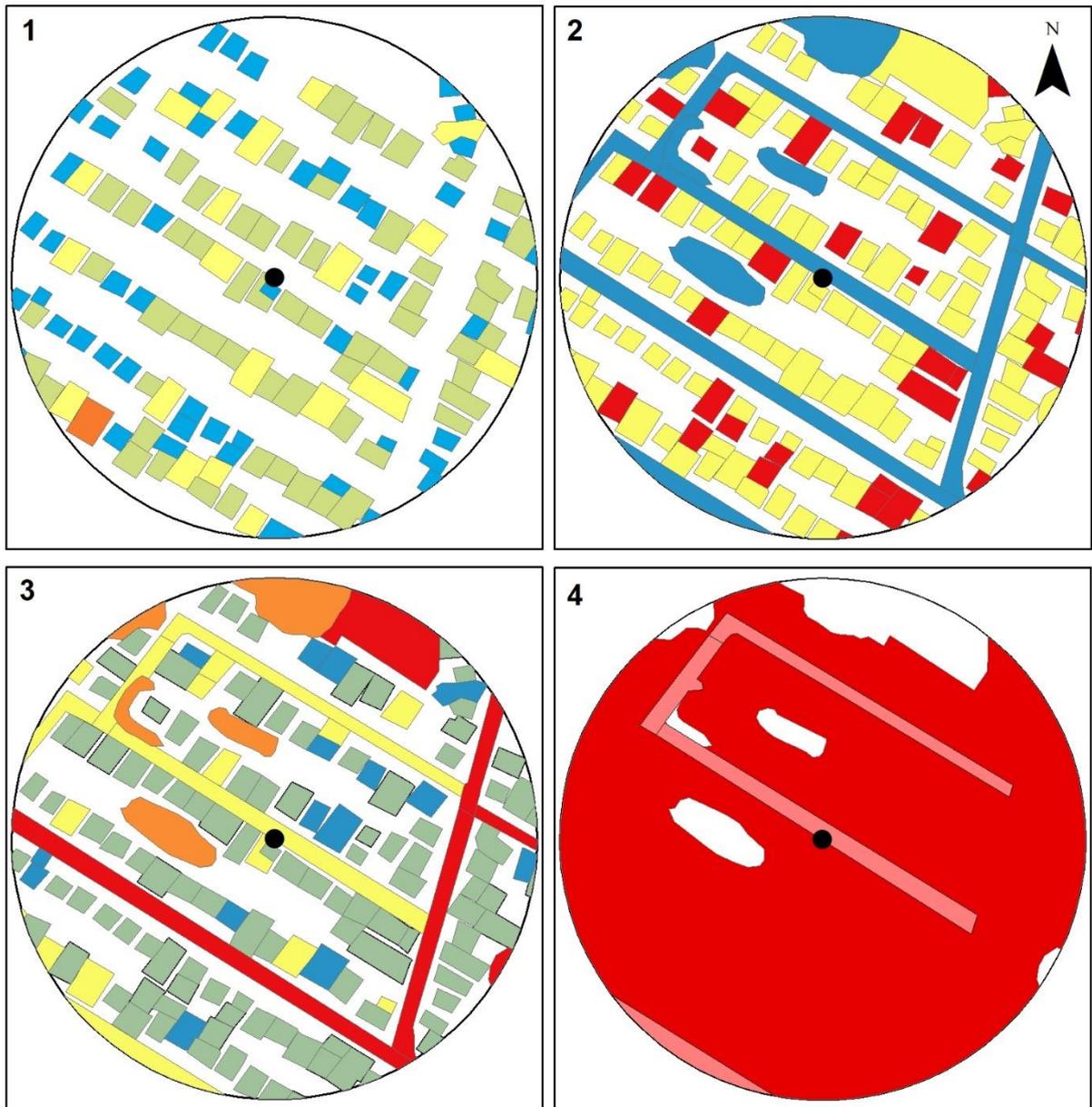
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria

Mapa temático - Ponto 7



Legenda

- Ponto de coleta
- Buffer 100m

1 - Massa Construída

- 0 - 60851
- 60852 - 115603
- 115604 - 253546
- 253547 - 618653
- 618654 - 2586171

2 - Emissividade

- 0,25
- 0,26 - 0,90
- 0,91 - 0,98

3 - Albedo

- 0,10 - 0,20
- 0,21 - 0,30
- 0,31 - 0,50
- 0,51 - 0,60
- 0,61 - 0,68

4 - Impermeabilidade

- Área Construída
- Semi-Impermeável
- Permeável



1:2.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SIRGAS 2000
Fuso: 23S

Fonte: Imagens Google Earth, 2017



Fonte: Elaboração própria