



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET

## **DISSERTAÇÃO**

**RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANO E MUDANÇAS NO USO DA  
TERRA: UM ESTUDO DE CASO PARA LONDRINA - PR**

**EWERTON VÔLNEY DA SILVA COSTA**

Campina Grande - PB

2015

**EWERTON VÔLNEY DA SILVA COSTA**

**RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANO E MUDANÇAS NO USO DA  
TERRA: UM ESTUDO DE CASO PARA LONDRINA - PR**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

**Área de Concentração:** Meteorologia de Meso e Grande Escalas

**Subárea:** Radiação e Sensoriamento Remoto

Campina Grande – PB

2015

EWERTON VÓLNEY DA SILVA COSTA

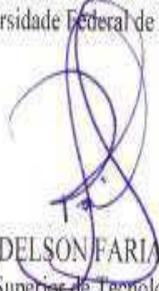
RELAÇÃO ENTRE ILHAS DE CALOR URBANO E MUDANÇAS NO USO DA TERRA:  
UM ESTUDO DE CASO PARA LONDRINA - PR

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/08/2015

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. JOSÉIVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof. Dr. RIDELSON FARIAS DE SOUSA  
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento  
Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba (PB)  
Tecnologia em Geoprocessamento

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- C837r Costa, Ewerton Vólney da Silva.  
Relação entre ilhas de calor urbano e mudanças no uso da terra: um estudo de caso para Londrina - PR / Ewerton Vólney da Silva Costa. – Campina Grande, 2015.  
84 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2015.
- "Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos".  
Referências.
1. Temperatura. 2. População. 3. Centros Urbanos. 4. Ilhas de Calor Urbano. 5. Uso do Solo. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos. II. Título.
- CDU 551.58(043)

A Deus por ter me conduzido em todos os momentos.

Aos meus pais Sergivaldo e Dulcinéa por todo amor.

A minha esposa Marcia Vanessa pelo apoio e  
companheirismo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, por ser meu guia e minha fortaleza em todos os momentos da vida.

Aos meus pais Sergivaldo e Dulcinéa, por todo amor, dedicação e pelo apoio incondicional.

A minha esposa e companheira Marcia Vanessa, por todo amor, carinho e companheirismo em todos os momentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG e todos os professores, em especial ao Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos por ter concordado em ser meu orientador nesta pesquisa.

Aos professores, Dr. Ridelson Farias de Sousa (IFPB) e Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior), pelo financiamento concedido durante o curso.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação, em especial a Elder, Uelpis e Francisco, pelo companheirismo e por todos os ensinamentos.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

“Aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças. Voam alto como águias.

Correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam.”

(Isaías 40:31)

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE QUADROS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XIII
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
4.1 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2 - MATERIAL.....	32
4.3 - MÉTODOS.....	33
<b>4.3.1 - Análise das Imagens digitais do sensor TM do LANDSAT 5 para interpretação preliminar.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.2 – Pré – Processamento das Imagens.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.3 – Uso da Terra.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3.4 – Geoprocessamento Para a Criação dos Mapas de Uso da Terra.....</b>	<b>36</b>
4.3.4.1 – Classificação Supervisionada.....	36
4.3.4.2 – Classificação Pelo Método da Máxima Verossimilhança.....	37
<b>4.3.5 – Obtenção do Saldo de Radiação (Rn).....</b>	<b>37</b>
4.3.5.1 – Calibração Radiométrica.....	38

4.3.5.2 – Reflectância Monocromática.....	39
4.3.5.3 – Albedo Planetário.....	40
4.3.5.4 – Albedo da Superfície.....	40
4.3.5.5 – Obtenção dos índices (NDVI, NDWI, NDBI, IVAS e IAF.....	41
4.3.5.6 – Obtenção das emissividades.....	43
4.3.5.7 – Temperatura da Superfície.....	43
4.3.5.8 – Radiação de Onda Longa Emitida (RL↑).....	45
4.3.5.9 – Radiação de Onda Longa Incidente (RL↓).....	45
4.3.5.10 – Radiação de Onda Curta Incidente (RS↓).....	45
4.3.5.11 – Obtenção do Saldo de Radiação (Rn).....	46
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
5.1 - CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	47
5.2 - OBTENÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO.....	53
5.3 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE SOBRE DIFERENTES USOS E OCUPAÇÕES DO SOLO.....	56
5.4 - RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E OS ÍNDICES NDWI, NDVI e NDBI.....	63
<b>6 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
<b>7 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Comparativo das condições para a formação de Ilha de Calor em centros urbanos.....	24
<b>Figura 2:</b> Mapa de localização do município de Londrina – PR.....	32
<b>Figura 3:</b> Fluxograma das etapas do processamento para obtenção do balanço de radiação à superfície ( $R_n$ ).....	38
<b>Figura 4:</b> Composição RGB-342 do município de Londrina/PR. (a) inverno de 1985 e (b) verão de 1986.....	47
<b>Figura 5:</b> Composição RGB-342 do município de Londrina/PR. (c) inverno de 1995 e (d) verão de 1996.....	48
<b>Figura 6:</b> Composição RGB-342 do município de Londrina/PR. (e) Inverno de 2007 e (f) Verão de 2007.....	48
<b>Figura 7:</b> Mapa de uso e ocupação do solo no município de Londrina-PR em 1985.....	49
<b>Figura 8:</b> Mapa de uso e ocupação do solo no município de Londrina-PR em 1995.....	50
<b>Figura 9:</b> Mapa de uso e ocupação do solo no município de Londrina-PR em 2007.....	50
<b>Figura 10:</b> Classificação do uso e ocupação do solo da zona urbana de Londrina-PR em 1985, 1995 e 2007.....	51
<b>Figura 11:</b> Distribuição espacial do saldo de radiação ( $R_n$ ) para o município de Londrina.....	54
<b>Figura 12:</b> Distribuição espacial do saldo de radiação ( $R_n$ ) para a cidade de Londrina.....	55
<b>Figura 13:</b> Distribuição espacial da temperatura (inverno e verão) no anos de 1985/86.....	56
<b>Figura 14:</b> Distribuição espacial da temperatura (inverno e verão) no anos de 1995/96.....	57
<b>Figura 15:</b> Distribuição espacial da temperatura (inverno e verão) em 2007.....	57
<b>Figura 16:</b> Distribuição espacial da temperatura (inverno e verão) na cidade de Londrina/PR. ....	58

<b>Figura 17:</b> Relação entre temperatura da superfície e mudanças na distribuição do uso e ocupação do solo na cidade de Londrina/PR.....	61
<b>Figura 18:</b> Temperatura média de diferentes tipos de classes de uso do solo para o ano de 2007.....	63
<b>Figura 19:</b> Distribuição espacial do NDVI no município de Londrina em 1985/86.....	64
<b>Figura 20:</b> Distribuição espacial do NDVI no município de Londrina em 1995/96.....	65
<b>Figura 21:</b> Distribuição espacial do NDVI no município de Londrina em 2007.....	65
<b>Figura 22:</b> Distribuição espacial do NDWI no município de Londrina em 1985/86.....	66
<b>Figura 23:</b> Distribuição espacial do NDWI no município de Londrina em 1995/96.....	67
<b>Figura 24:</b> Distribuição espacial do NDWI no município de Londrina em 2007.....	67
<b>Figura 25:</b> Distribuição espacial do NDBI no município de Londrina em 1985/86.....	69
<b>Figura 26:</b> Distribuição espacial do NDBI no município de Londrina em 1995/96.....	69
<b>Figura 27:</b> Distribuição espacial do NDBI no município de Londrina em 2007.....	70
<b>Figura 28:</b> Relações entre temperatura, em °C, e valores médios de NDVI. (a) 1985/86, (b) 1995/96 e (c) 2007.....	71
<b>Figura 29:</b> Relações entre temperatura, em °C, e valores médios de NDWI. (a) 1985/86, (b) 1995/96 e (c) 2007.....	72
<b>Figura 30:</b> Relações entre temperatura, em °C, e valores médios de NDBI. (a) 1985/86, (b) 1995/96 e (c) 2007.....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo da cidade de Londrina/PR no período (1985-2007).....	52
Tabela 2: Dados de população do Censo de 1991, 1996 e 2006.....	52
Tabela 3: Variações da temperatura do ar medida no verão de Londrina/PR: máxima, mínima e média, entre os anos de 1985 a 2007.....	59
Tabela 4: Diferença de temperatura de superfície entre diferentes classes em Londrina(°C).....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição das imagens Landsat/TM utilizadas na pesquisa.....	33
Quadro 2. Descrição dos canais do Mapeador Temático (TM) do Landsat5, com correspondentes intervalos de comprimentos de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA). .....	34
Quadro 3. Classes de uso e ocupação das terras do município de Londrina/PR.....	35
Quadro 4. Constantes de calibração espectral para o Landsat 5-TM, segundo Chander e Markham (2003).....	39
Quadro 5. Valores do ESUN ( $W m^{-2}\mu m^{-1}$ ) válidos para o Landsat-5.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DN - Número Digital

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IAF- Índice de Área Foliar

ICU - Ilha de Calor Urbano

IFU - ilha de frescor Urbana

LANDSAT – Land Remote Sensing Satellit

NDBI- Índice de Área Construída por Diferença Normalizada

NDVI- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NDWI- Índice de Água por Diferença Normalizada

PR - Paraná

RGB – Red, Green, Blue

Rn- Saldo de Radiação

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado por Solo

SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle

TM – Thematic Mapper

TOA - Topo da Atmosfera

UN-Habitat - Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos

USGS - United States Geological Survey

VFU - Vale Urbano Fresco

## RESUMO

O crescimento desenfreado das cidades é um problema decorrente do aumento da população, causando inúmeras complicações para a sociedade e meio ambiente, como por exemplo, poluição, assoreamento de rios, desmatamento, alterações no clima local ou regional. O aumento da temperatura está diretamente ligado ao crescimento urbano, sendo influenciado pelo alto índice de construções, poluição, redução da vegetação e impermeabilização do solo, ocasionando problemas para a saúde dos habitantes e um desconforto térmico, gerando as chamadas ilhas de calor urbano (ICU). O estudo tem como objetivo identificar áreas propícias para a formação das ICU, caracterizar as mudanças do uso e ocupação do solo sobre a temperatura, estimar o saldo de radiação e os índices de vegetação (NDVI), água (NDWI) e área construída (NDBI) no período entre 1985 e 2007 em Londrina/PR. Foram gerados diagramas de dispersão com o intuito de analisar as relações entre os índices e a temperatura. Durante esse período, a vegetação e as áreas de solo exposto perderam espaço para a malha urbana, que apresentou um crescimento superior a 17%. A temperatura mínima encontrada na zona urbana com o passar dos anos fica cada vez mais elevada, em 1985 apresentou 22,4°C, já em 2007 apresentou 26,3°C, um aumento de aproximadamente 4°C. A temperatura na malha urbana também se apresentou mais elevada em comparação com as outras classes, chegando a marcar mais de 8°C em comparação com a vegetação densa. As temperaturas mais altas se apresentam nas regiões de solo exposto, estradas e alta densidade de edificações e as menores temperaturas foram identificadas nos corpos hídricos. A relação entre temperatura e os índices, indicou que quanto maior a temperatura, menor os valores de NDVI e NDWI. Já o NDBI, apresentou valores maiores à medida que a temperatura aumenta.

Palavras-chave: temperatura, população, centros urbanos, ilha de calor urbano, uso do solo.

## ABSTRACT

The rampant growth of cities is a problem due to increased population, causing numerous complications for society and the environment, such as pollution, silting of rivers, deforestation, changes in local or regional climate. The temperature rise is directly linked to urban growth, being influenced by the high number of buildings, pollution, reduction of vegetation and soil sealing, causing problems for the health of inhabitants and thermal discomfort, generating the so-called urban heat islands (ICU ). The study aims to identify areas suitable for the formation of the ICU, to characterize the changes of land use and occupation over temperature, estimate the net radiation and the vegetation index (NDVI), water (NDWI) and building area (NDBI ) between 1985 and 2007 in Londrina / PR. Scatter plots were generated in order to analyze the relationship between the indexes and the temperature. During this period, vegetation and bare soil areas lost space to the urban fabric, which showed a growth of 17%. The minimum temperature found in the urban area over the years becomes increasingly higher in 1985 showed 22.4 ° C in 2007 showed 26.3 ° C, an increase of about 4 ° C. The temperature in the urban also showed the highest in comparison with the other classes, reaching scores more than 8 ° C as compared with dense vegetation. The higher temperatures present in the soil exposed areas, roads and buildings high density and lower temperatures have been identified in water bodies. The relationship between temperature and indices indicated that the higher the temperature, the lower the NDVI values and NDWI. Since the NDBI, had larger values as the temperature increases.

Keywords: temperature, population, urban centers, urban heat island, land use.

## 1- INTRODUÇÃO

O processo de industrialização baseado na revolução técnico-científica e a urbanização promoveram o crescimento acelerado das cidades, as quais sofreram profundas alterações no uso e ocupação do solo. A partir da segunda metade do século XX, o Brasil passou por uma aceleração de seu processo de industrialização e, conseqüentemente, de urbanização, momento no qual a população deixou de ser majoritariamente rural para tornar-se urbana. Nesse sentido, os centros urbanos nos quais se concentravam as indústrias e o comércio passaram a receber um enorme contingente de pessoas vindas das mais diferentes regiões do país em busca de melhores condições de emprego, de renda e de qualidade de vida. Exemplo claro desse processo de migração e de êxodo rural é o que se deu na região Sudeste do país, principalmente na cidade de São Paulo e em sua região metropolitana, nas quais indivíduos vindos de várias partes do país chegaram para o trabalho como operários das indústrias, do comércio e da construção civil. Surgia, dessa forma, uma demanda social por moradias, equipamentos e infraestrutura nas zonas urbanas.

O crescimento das cidades é um processo irrefreável e, muito provavelmente, será irreversível. De acordo com o Programa das nações Unidas para Assentamentos Humanos (UN-Habitat), a população urbana foi multiplicada por cinco entre 1950 e 2011 no mundo todo. Em 2008, o mundo alcançou um marco invisível, porém significativo: pela primeira vez na história, mais da metade da população humana (3,3 bilhões de pessoas) vive em áreas urbanas.

Com o processo de crescimento urbano a todo vapor, surgem preocupações com as condições climáticas e melhoria da qualidade de vida da população nas

metrópoles, assim como nas cidades de pequeno e médio porte, fatores que levaram vários estudiosos a realizarem pesquisas sobre essas temáticas.

Para Pachêco e Ribas (1998), o processo de urbanização tem gerado diversos problemas ambientais, tais como inundações, erosão, aumento dos resíduos sólidos, assoreamento de reservatórios e poluição da água, que somadas a outros problemas sociais, configuram algumas das consequências do uso inadequado da terra, que terminam por influenciar na qualidade de vida da população residente. O crescimento urbano pode ainda gerar alterações no clima local ou regional. Segundo Oke (1987), extensas superfícies urbanizadas modificam os processos do balanço de energia e água e influenciam a dinâmica do movimento do ar.

A mudança de tempo e clima é uma constante preocupação para a sociedade, visto que todos sofrem diretamente com efeitos causados por ela. Nos médios e grandes centros urbanos, existe uma preocupação da população de forma geral com o aumento da temperatura, o que vêm ocasionando muitos problemas, sobretudo no bem estar e saúde.

No início do século XIX em meio a esse processo de industrialização, na Inglaterra, Luke Howard realizou um estudo revolucionário sobre o clima de Londres. Neste trabalho Howard detectou um “excesso de calor artificial” na cidade em comparação com a zona rural. A este fenômeno característico das metrópoles, identificado em diversos trabalhos sobre climatologia, os pesquisadores denominaram de “ilhas de calor urbano”. O fenômeno de ilhas de calor é um problema ambiental grave, conseqüente de um planejamento urbano deficiente, ou até mesmo da falta dele. Os impactos negativos afetam muitas pessoas de várias maneiras, causando não apenas desconforto térmico, devido às temperaturas elevadas, mas também atinge diretamente a

saúde das pessoas, prejudicando a qualidade de vida dos habitantes (MONTEIRO, 1976).

A mudança na paisagem natural das cidades, a exemplo da substituição de vegetação por áreas construídas, pavimentação asfáltica, que são elementos de alta condutibilidade e quando associadas à poluição resultam no aumento da temperatura, ocasionando assim um grande desconforto térmico e gerando as chamadas ilhas de calor urbano (ICU), que vem sendo uma preocupação dos estudiosos há mais de 40 anos. Arya (2001) definiu ICU como sendo o aumento da temperatura da superfície e do ar de uma determinada área urbana, em relação a uma área rural ou suburbana.

Outras expressões derivadas da ilha de calor urbana surgem, a saber: ilha térmica, expressão sinônima; ilha de frescor urbana (IFU) ou vale urbano fresco (VUF) (RIZWAN et al, 2008), núcleos mais frios no interior ou ao redor das ilhas urbanas de calor; ilhota de calor (GARCÍA, 1999), núcleo secundário de calor, geralmente de menor proporção e intensidade que a ilha de calor principal da cidade, que aparece localizada nas áreas suburbanas e arredores; ilha seca (GARCÍA, 1999), fenômeno próprio dos núcleos mais quentes da ilha de calor, onde os setores mais quentes apresentam umidade relativa mais baixa que o subúrbio e arredores.

A intensidade e a extensão espacial da ICU dependem da localização da cidade, da morfologia urbana (forma e densidade das construções), do tipo de materiais construtivos, das atividades industriais, das condições climáticas e da sucessão das situações sinóticas e tipos de tempo. A ICU é especialmente importante sob condições atmosféricas estáveis (sistema anticiclônico), que se caracterizam pela baixa velocidade do vento e pela ausência de nebulosidade (CANTAT, 2004).

Inúmeros fatores são contribuintes para que as ICU's se desenvolvam que é o caso da concentração relativamente alta de fontes de calor nas cidades. As propriedades

térmicas dos materiais das construções urbanas também facilitam a condução de calor mais rapidamente que o solo e a vegetação das áreas rurais, contribuindo para um aumento no contraste de temperatura entre essas regiões.

As ICU surgem a partir da presença de edificações e de alterações da paisagem causadas pelo homem. Ao contrário de outros fenômenos climáticos, em que a ação antrópica interfere ou agrava ainda mais, as ICU são causadas exclusivamente pela ação do homem. Elas ocorrem devido à remoção da cobertura vegetal e a grande quantidade de construções (concretos) e aglomerados urbanos, formando verdadeiros “labirintos” de refletores de luz e radiação solar e impedem a circulação do ar. Geralmente as áreas urbanas ficam mais quentes após o pôr do sol e mais frescas ao amanhecer.

Efeitos causados pelas ICU podem modificar as correntes de vento e a precipitação, mas isto deve ser analisado mediante outros fatores como, por exemplo, o tipo de sistema meteorológico, a posição geográfica e a estrutura dos edifícios. Neste sentido, o avanço da tecnologia espacial coloca à disposição satélites com sensores imageadores da superfície da terra, que permitem a obtenção de produtos (imagens) em faixas espectrais distintas e com características espaciais e temporais apropriadas para o estudo de uso da terra, garantindo assim a gestão do espaço geográfico local e global.

Desta forma, faz-se necessário o uso de dados de sensores remotos e de técnicas de tratamento digital de imagens que possibilitem a representação espacial, em classes temáticas, dos diferentes polos de ICU na cidade de Londrina, que está localizada no Terceiro Planalto Paranaense, na porção centro-norte do estado do Paraná, região Sul do Brasil.

A escolha de Londrina se deu em virtude da disponibilização de uma série de dados de temperatura da cidade. A década de 1970 representou, para Londrina, um período de urbanização intensa e de concentração populacional superior ao crescimento

médio do estado (MOURA E KLEINKE, 1999). Seu processo de crescimento econômico, demográfico e urbano gerou uma conurbação com municípios contíguos – como Cambé, Ibiporã, Rolândia – e, por consequência, pressionou ainda mais a ocupação de áreas rurais. Hoje, com cerca de 530 mil habitantes, Londrina é a segunda maior cidade do Paraná e vive o fenômeno da segregação espacial. O centro da cidade, por exemplo, vem perdendo sua função de residência e lazer, característica que tinha na década de 1940 até a de 1980.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo utilizando dados de sensoriamento remoto e modelos computacionais para identificar o aumento da temperatura e indícios de formação de ilhas de calor urbano na cidade de Londrina/PR, no período entre 1985 e 2007.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obter o saldo de radiação ( $R_n$ ) da superfície através do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land);
- Obter temperaturas de superfície dos períodos de inverno e verão a partir de imagens orbitais do Landsat 5/TM dos anos de 1985/86, 1995/96 e 2007;
- Obter os índices NDVI, NDWI e NDBI para extrair informações de imagens a respeito do uso do solo nos períodos de inverno e verão a partir de imagens orbitais do Landsat 5/TM dos anos de 1985/86, 1995/96 e 2007;
- Analisar a relação entre temperatura da superfície e uso do solo na cidade de Londrina/PR.

### 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Lombardo (1985), o processo de ocupação traz profundas mudanças para o ambiente urbano “uma metrópole sem planejamento adequado do uso do solo, com ausência de parâmetros adequados de verticalização e ocupação, sobretudo onde ela cresce a uma velocidade rápida e com poucos recursos técnicos, pode colocar em risco a qualidade de vida dos seus habitantes”.

Estudos realizados por Teza e Baptista (2005) corroboram com os conceitos preceituados por Lombardo (1985), no que tange as questões vinculadas a uma ocupação urbana organizada, principalmente com os impactos do aumento populacional. Teza e Baptista (2005) realizaram estudos a partir de imagens Landsat5/TM de 1984 e 2001, constatando um aumento médio da temperatura de 3°C, neste período. Moreira (2007) analisando a distribuição espacial das temperaturas à superfície da cidade do Recife, através do satélite Landsat 7, em maio 2002 encontrou temperaturas superiores a 33°C em áreas com elevado adensamento construtivo, evidenciando as ilhas de calor urbano.

O aumento da irradiância de onda longa da atmosfera em direção às superfícies urbanas associada ao aumento da concentração dos gases do efeito estufa sobre as cidades ( $CO_2$ , metano) modifica o balanço de energia (radiação e fluxos de calor) da superfície e da atmosfera. (LOMBARDO, 1985; CABRAL, 1997; MOLION, 2001; BAPTISTA, 2002; SOUZA e MASSAMBANI, 2004; FREITAS e DIAS, 2005; MORAES et al, 2005; BAPTISTA, 2010).

A ICU é o calor característico das áreas urbanas, quando comparadas com seus arredores (não urbanizados) e, geralmente, refere-se ao aumento na temperatura do ar, mas pode igualmente referir-se ao calor relativo da superfície ou materiais

subsuperficiais. Desse modo, a ilha de calor é uma medida de diferença (VOOGT, 2002), que não se evidencia a partir de uma medida absoluta da temperatura, indevidamente empregada em alguns trabalhos na literatura.

O efeito de rugosidade das construções e o ar quente ascendente contribuem para podem aumentar a concentração de aerossóis e provocar o aumento da precipitação (LOMBARDO, 1984). O efeito da rugosidade pode contribuir para a formação de ICU's. O balanço de energia e de radiação na zona urbana é modificado como consequência das alterações promovidas pela substituição das superfícies naturais por pavimentações e construções, que armazenam parte da energia incidente na superfície que seria utilizada na evaporação da umidade superficial, aquece os ambientes urbanos, tornando-os mais quentes que as regiões periféricas (LANDSBERG, 1981). Desta forma, as condições ideais de vida dos habitantes dos grandes centros urbanos podem vir a serem investigadas através do conforto térmico provocado pelo “efeito de ilha de calor”.

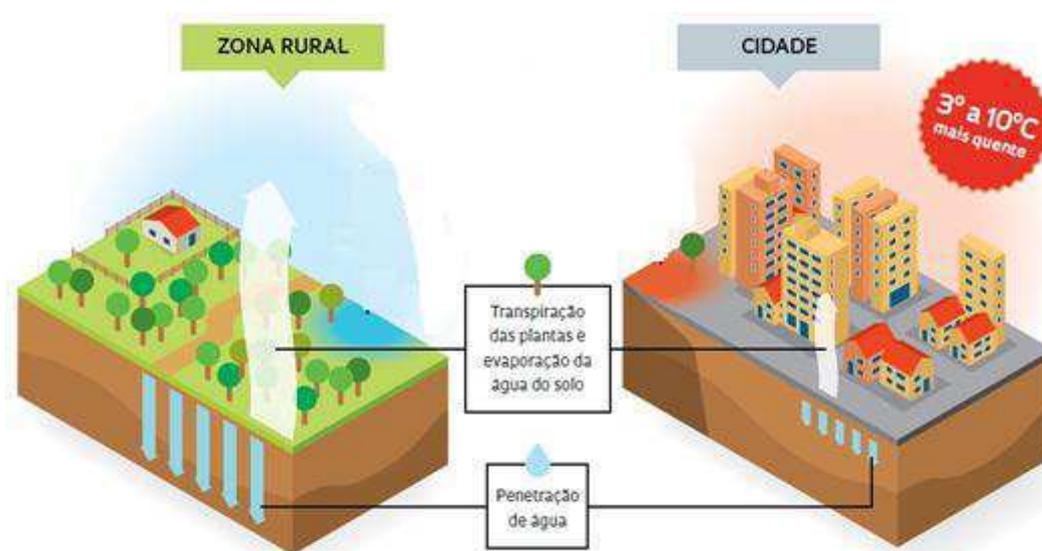
Uma séria consequência do problema são as tempestades associadas a nuvens tipo Cumulonimbus ou Cb, pois a ilha de calor é um fenômeno também caracterizado pelo aumento da precipitação convectiva (LOMBARDO, 1985; CABRAL, 1997; MOLION, 2001; BAPTISTA, 2002; SOUZA e MASSAMBANI, 2004; FREITAS e DIAS, 2005; MORAES et al, 2005; BAPTISTA, 2010).

As ilhas de calor ocasionam outros problemas, como o agravamento das ondas de calor (canículas) com consequências sobre o aumento da mortalidade de idosos e doentes que apresentem redução em sua capacidade de termorregulação corpórea e de percepção da necessidade corpórea de hidratação (idosos e pacientes com doenças mentais ou de mobilidade) (LOMBARDO, 1985; CABRAL, 1997; MOLION, 2001;

BAPTISTA, 2002; SOUZA e MASSAMBANI, 2004; FREITAS e DIAS, 2005; MORAES et al, 2005; BAPTISTA, 2010).

Também como consequência das ICU as áreas verdes são reduzidas para fins de edificação urbana, havendo uma diminuição da extensão das superfícies de evaporação (lagos, rios) e de evapotranspiração (parques, bosques, jardins, bulevares). Assim, as atividades humanas alteram os microclimas urbanos e as condições de conforto ambiental das cidades. A impermeabilização dos solos devido à pavimentação e desvio da água por bueiro e galerias, reduz o processo de evaporação e evapotranspiração urbana, modificando o balanço hídrico da superfície urbana, podendo aumentar a vulnerabilidade da população a enchentes e deslizamentos de terra (LOMBARDO, 1985; CABRAL, 1997; MOLION, 2001; BAPTISTA, 2002; SOUZA e MASSAMBANI, 2004; FREITAS e DIAS, 2005; MORAES et al, 2005; BAPTISTA, 2010).

A Figura 1 ilustra como surgem as ICU nos centros urbanos, fazendo um comparativo com a zona rural.



**Figura 1.** Comparativo das condições para a formação de Ilha de Calor em centros urbanos. Fonte: Oliveira e Alvará (2012).

Vários fatores unidos contribuem para a formação das ilhas de calor urbano, como por exemplo, a poluição do ar onde o efeito de interação e a poluição constituída de partículas e de diferentes gases provocam alterações locais no balanço de energia e radiação. Outro fator é causado pela retenção da radiação solar, decorrentes do efeito da geometria do chamado “cânion urbano”, agravada pelas construções de prédios e estreitamento da largura das ruas, aumentando a absorção dos raios infravermelhos, gerando assim o aumento da temperatura média nas grandes cidades.

Neste sentido, com os avanços tecnológicos, através do aprimoramento das técnicas de tratamento digital de imagens, são desenvolvidas novas possibilidades de extração de informação de imagens captadas por diferentes sensores orbitais. Uma tecnologia importante nos estudos climatológicos é o geoprocessamento, que permite o uso desses recursos, de forma sustentável e gerenciada.

Esta tecnologia tem influência crescente na análise de recursos naturais e em países de grandes dimensões com carência de informações adequadas para tomadas de decisões sobre problemas urbanos e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, em que o conhecimento é adquirido localmente (CÂMARA e MEDEIROS, 1988).

Considerando ainda o custo de instalação de complexos equipamentos de medição e a escassez de recursos humanos e econômicos, novas metodologias foram desenvolvidas para rápida obtenção de dados hidrológicos, como o uso do sensoriamento remoto.

Dessa forma, o conjunto de dados do sensor TM do LANDSAT 5, de técnicas de tratamento digital de imagens e outras técnicas de geoprocessamento são extremamente importantes para se obter o saldo de radiação da superfície, tornando mais confiável as pesquisas sobre ilhas de calor urbano.

O sensoriamento remoto, aliado as técnicas de tratamento digital de imagens, permite identificar as características dos agentes modificadores do espaço, reconhecer e mapear, além de estimar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelo homem, contribuindo para o monitoramento presente e futuro dos fenômenos analisados (GOMES, 1995). Além do mais, fazendo uso de produtos orbitais em softwares de processamento digital de imagens e/ou SIG, é possível manipular os dados utilizando recursos como contrastes, composições, fusões, segmentação, classificação, funções de análises espaciais etc., que permitem reconhecer alvos – água, solo e vegetação, desta forma é possível a obtenção dos índices de vegetação como o NDVI, IAF e SAVI.

De acordo com Ponzoni (2001), a aparência da cobertura vegetal em determinado produto de Sensoriamento Remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. O que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação (alvo), não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas dessa vegetação, inclui também a interferência de vários outros parâmetros e fatores tais como: a fonte de radiação, o espalhamento atmosférico, as características tanto das folhas quanto do dossel, os teores de umidade do solo, a interferência da reflectância do solo, sombra, entre outros.

A utilização de índices de vegetação como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas (JENSEN, 2009; EPIPHANIO et al., 1996).

Para Moreira e Shimabukuro, (2004), um índice de vegetação resulta da combinação da medida da radiação eletromagnética refletida pela vegetação, em algumas bandas do espectro eletromagnético, que guardam certa relação com a quantidade e o estado da vegetação na área onde foi feita a medida espectral.

Moreira e Shimabukuro (2004) ainda afirmam que na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Chen et al. (2006) utilizaram imagens de índices de vegetação com objetivo de avaliar a inter-relação das ilhas de calor urbano com a cobertura vegetal na região costeira do Sul da China, e verificaram que o aumento de temperatura foi devido a rápidas mudanças ocorridas nos padrões da vegetação e uso do solo consequentes do acelerado processo de urbanização dos últimos anos. O NDVI é comumente usado para detectar a densidade da vegetação, e os autores observaram que para valores próximos a 0,60 ou maior, em que toda vegetação é identificada, existe uma correlação linear positiva entre o NDVI e a temperatura.

O NDVI é um índice comumente usado em dados remotos para dar uma indicação do vigor da vegetação, mas em alguns estudos este índice tem sido utilizado na estimativa do coeficiente de cultivo das culturas, na análise da degradação ambiental (SINGH et al., 2006), classificação de cobertura de solo, detecção de secas, na identificação de áreas degradadas, desmatadas e inclusive, no monitoramento e identificação de áreas afetadas por gafanhotos na China (JI et al., 2004).

O NDVI é representativo de vários índices de vegetação espectrais, (KAZMIERCZAK, 1996). Este índice é uma técnica bastante importante utilizada para melhor visualizar os alvos no que diz respeito à variação da vegetação, ele é a razão

entre as bandas de alta correlação entre si e serve para realçar os alvos de interesse, a biomassa vegetal (FREIRE e PACHECO, 2005).

Outro índice importante é o NDWI ou IDNA (Índice de Diferença Normalizada da Água), que é utilizado para o mapeamento de águas superficiais, realçando a presença das mesmas em imagem obtidas no sensoriamento remoto. Desta forma este índice tem destaque no monitoramento do comportamento hídrico. Este se utiliza das bandas do infravermelho próximo e médio, o qual permite estimar a quantidade de água em determinada cultura.

O NDWI é uma medida que visa delinear feições de umidade (como corpos de água) em uma imagem de satélite (FOERSTNOW e MENEZES, 2011). Esse índice é obtido pela relação entre a informação contida nas bandas do infravermelho próximo e do verde, observando a quantidade de energia refletida pelos objetos nessas bandas. Essa relação realça as feições mais úmidas enquanto elimina a influência do solo e da vegetação terrestre.

Já o NDBI (Normalized Difference Built-up Index) é um índice radiométrico desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas, tendo como base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio. O NDBI é aplicado ainda para o mapeamento rápido de áreas urbanas e no auxílio ao estudo de ilhas de calor urbanas.

O Saldo de radiação ( $R_n$ ) da superfície terrestre é de fundamental importância para os processos de evaporação, fotossíntese e aquecimento do solo e do ar (BISHT e BRAS, 2010). O mesmo representa grande parte da energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre sendo definido como o balanço de radiação de todos os fluxos radiativos que chegam e saem de uma superfície (KLEIN, 1977; WELIGEPOLAGE, 2005) o qual é um componente fundamental para a

estimativa do balanço de energia na superfície, previsão do tempo e aplicação na agricultura. O Balanço de radiação é a diferença entre a entrada e a saída de energia eletromagnética. Os principais componentes para o balanço de radiação no sistema terrestre são: superfície, atmosfera e nuvens. Quando a radiação solar entra no sistema terrestre, uma parte é absorvida pela superfície e outra parte é refletida de volta para o espaço.

Com o objetivo de simplificar o processo de obtenção de variáveis hidrológicas para grandes áreas, alguns algoritmos têm sido desenvolvidos, dentre os quais se destaca o Surface Energy Balance Algorithm for Land - SEBAL (BASTIAANSEN, 1995; BASTIAANSEN et al., 2005).

O SEBAL foi desenvolvido e validado por Bastiaanssen (1995) em campanhas experimentais na Espanha e no Egito usando imagens do satélite Landsat 5-TM. Pois esse algoritmo foi desenvolvido com o propósito de determinar a evapotranspiração, por meio do balanço completo da radiação e da energia incidente sobre a superfície terrestre. O SEBAL se obtém o fluxo de calor latente –  $\lambda E$  ( $W m^{-2}$ ) como resíduo do balanço de energia, o que ocorre após a obtenção do saldo de radiação –  $R_n$  ( $W m^{-2}$ ), fluxo de calor no solo –  $G$  ( $W m^{-2}$ ) e fluxo de calor sensível –  $H$  ( $W m^{-2}$ ), nessa ordem. Este algoritmo tem sido aplicado em vários países, e sua ampla utilização se deve ao fato de que o mesmo requer apenas imagens digitais de sensores que possibilitem a determinação do albedo, índices de vegetação e temperatura da superfície, como os sensores TM – Landsat 5, MODIS – Terra, AVHRR – NOAA, ASTER – Terra, e poucos dados de superfície como velocidade do vento e temperatura do ar. (ALLEN et al., 2002; TASUMI et al. 2008).

O algoritmo SEBAL tem sido muito utilizado por autores brasileiros (SILVA e BEZERRA, 2006; FOLHES, 2007; MENDONÇA, 2007; BEZERRA et al., 2008;

NICÁCIO, 2008), para estimar valores de evapotranspiração consistentes, quando comparados com os medidos em campo, com variações entre 1 e 5% no resultado final. Outros pesquisadores, como JACOB et al. (2002), HEMAKUMARA et al. (2003) e FRENCH et al. (2005), apresentam resultados com variações superiores a 20%. Por também ser capaz de inferir na umidade disponível no solo, o modelo é frequentemente empregado em estudos de mapeamento de demanda hídrica de culturas e eficiência de irrigação (ZWART e BASTIAANSSEN, 2007).

## 4 - MATERIAL E MÉTODOS

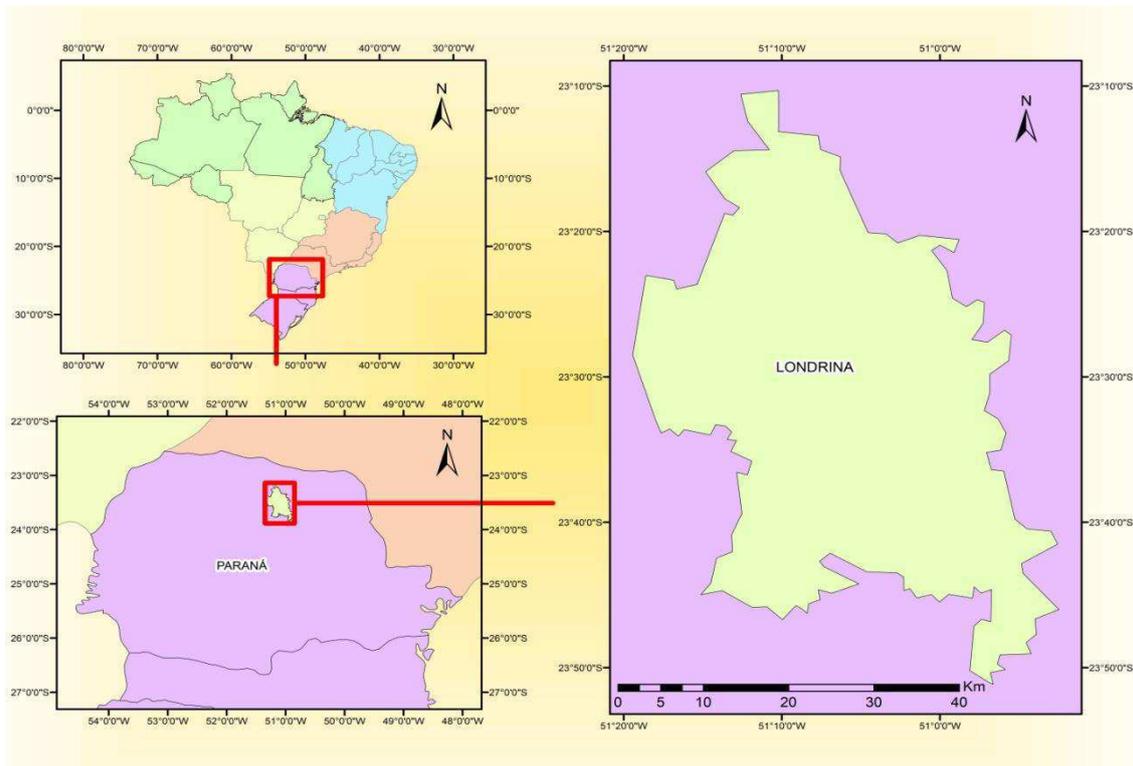
A metodologia consiste no uso de técnicas do modelo SEBAL utilizando o software ERDAS e produtos do sensor remotos TM/LANDSAT 5, adquiridos através do portal do USGS (United States Geological Survey).

### 4.1 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Londrina está localizado no estado do Paraná, região sul do Brasil, a uma distância de 381 km da capital paranaense, Curitiba. Possui uma população de 543.003 habitantes (IBGE, 2014), sendo a segunda cidade mais populosa do estado e a quarta da Região Sul.

O clima no município de Londrina é subtropical úmido mesotérmico em locais de menores altitudes, de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão (MAACK, 1968). A temperatura média dos últimos 30 anos é de 21 °C, com média anual máxima de 27,3 °C e a média anual mínima de 16 °C. A média anual de umidade relativa do ar é de 70,4%. A precipitação média anual varia de 1.400 a 1.600 mm, sendo que a precipitação nos meses menos chuvosos (junho, julho e agosto) varia de 225 a 250 mm e nos meses mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro) de 500 a 600 mm.

A área está limitada pelas coordenadas geográficas 50° 51' W e 23° 53' S e 51°20' W e 23°09' S, indicada pela Figura 2.



**Figura 2.** Mapa de localização do município de Londrina – PR.

#### 4.2 – MATERIAL

- Dados bibliográficos – Consultas à Internet, livros e publicações referentes ao assunto e as áreas de estudo, além de mapas, destacando aspectos regionais e temáticos;
- Dados de sensores remotos – Imagens multiespectrais do LANDSAT-5/TM nas bandas 1 (região do azul), 2 (região do verde), 3 (região do vermelho), 4 (região do infravermelho próximo), 5 (região do infravermelho médio), 6 (região do infravermelho termal) e 7 (região do infravermelho distante);
- Dados SRTM (Missão Topográfica Radar Shuttle) – Para obter o Rn utilizando o algoritmo SEBAL;
- Suporte Computacional: Software ERDAS para o processamento das imagens, além de softwares de SIG gratuitos para a criação dos mapas temáticos;
- Imagem Ortoretificada do satélite GLS-LANDSAT do ano de 1992.

### 4.3 – MÉTODOS

#### 4.3.1 - Análise das Imagens digitais do sensor TM do LANDSAT 5 para interpretação preliminar

A análise das imagens procedeu de um estudo comparativo entre as propriedades espectrais e texturais que cada fenômeno espacial assume nas diversas cenas registradas, associando diferentes níveis de refletância aos diversos fenômenos, época de aquisição das imagens relacionadas com os alvos espectrais.

Para medir, quantitativamente, a temperatura de superfície e comparar a intensidade da ilha de calor na área em estudo, foram utilizadas imagens do Sensor TM do satélite Landsat-5. Esta pesquisa foi configurada em três épocas distintas (1985/1986, 1995/1996 e 2007) sendo separadas em dois períodos (inverno e verão) constituindo uma análise multitemporal. As imagens utilizadas estão listadas no Quadro 1, as bandas 1-5 e 7 têm resolução espacial de 30 m, e da banda do infravermelho termal (banda 6) tem resolução espacial de 120 m. Todas essas imagens foram adquiridas junto ao portal do United States Geological Survey - USGS.

**Quadro 1:** Descrição das imagens Landsat/TM utilizadas na pesquisa.

ÓRBITA/PONTO	DATA DA PASSAGEM – inverno	DATA DA PASSAGEM – verão
222/076	10/07/1986	11/11/1985
222/076	21/07/1996	09/12/1995
222/076	20/07/2007	29/03/2007

A descrição dos canais do sensor TM do Landsat-5 contendo os seus respectivos comprimentos de ondas e coeficientes de calibração são informados no Quadro 2.

**Quadro 2.** Descrição dos canais do Mapeador Temático (TM) do Landsat5, com correspondentes intervalos de comprimentos de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima – b) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Descrição dos Canais	Comprimento de onda $\mu\text{m}$	Coeficientes de Calibração		$K_{\lambda}(\lambda_i)$ $W/m^2\mu\text{m}$
		$Wm^{-2}st^{-1}\mu^{-1}$		
		A	B	
Banda 1 (Azul)	0,45 – 0,52	-1,500	152,100	1957
Banda 2 (Verde)	0,53 – 0,61	-2,800	296,800	1829
Banda 3 (Vermelho)	0,62 – 0,69	-1,200	204,300	1557
Banda 4 (infravermelho próximo)	0,78 – 0,90	-1,500	206,200	1047
Banda 5 (infravermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,370	27,190	219,3
Banda 6 (infravermelho termal)	10,4 – 12,5	1,238	15,600	-
Banda 7 (infravermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,150	14,380	74,52

#### 4.3.2 – Pré – Processamento das Imagens

Foi necessária uma avaliação prévia das imagens a serem utilizadas, a fim de identificar as condições das mesmas. Para analisar as mudanças na temperatura e na cobertura de uso do solo, na região, as imagens devem estar no mesmo sistema de referência UTM/WGS84. As imagens foram georreferenciadas a partir da imagem ortorretificada do ano de 1992, e reamostradas usando o algoritmo do vizinho mais próximo, com o tamanho do pixel 30m por 30m para todas as bandas, incluindo a banda do termal. Todo processamento foi realizado usando software ERDAS Imagine v.8.5.

### 4.3.3 – Uso da Terra

A análise do uso da terra foi feita com base na interpretação de produtos digitais do sensor TM do Landsat 5. Foram analisadas as tonalidades de cinza e as formas geométricas, o que permitiu a definição e a diferenciação das propriedades agrícolas (por tamanho), das malhas urbanas, das áreas ocupadas pela vegetação natural e das áreas de solos expostos (não agrícolas). A Metodologia tomou como base as classes de uso do solo definidas por GOMES (2012), conforme Quadro 3.

**Quadro 3.** Classes de uso e ocupação das terras do município de Londrina/PR.

<b>CLASSES</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Vegetação Densa</b>	Áreas ocupadas por uma vegetação densa, caracterizada por árvores de médio e grande porte. Vegetação fechada, pouco antropizada.
<b>Vegetação</b>	Áreas ocupadas por uma vegetação mais esparsa e plantações; caracterizada por árvores e arbustos de pequeno porte, frequentemente com altura inferior a 3 metros.
<b>Vegetação Rala + Solo Exposto</b>	Corresponde a uma vegetação bem espalhada ou pasto, com ocorrência de poucos exemplares arbóreos e grande ocorrência de solo exposto, apresentando distribuição esparsa e menor número de espécies vegetais. Áreas de solo totalmente descoberto, onde em alguns pontos se verifica a extração de material
<b>Água/açudes</b>	Áreas ocupadas por <b>reservatórios (corpos d'água) e rios</b> . Águas utilizadas para o consumo, sendo perceptíveis indícios de assoreamento.
<b>Malha urbana</b>	Área ocupada pelas edificações ( <b>cidade de Londrina-PR</b> ). Áreas impermeabilizadas pela pavimentação com algumas ruas sem calçamento.

Fonte: Gomes (2012)

#### **4.3.4 - Geoprocessamento para a criação dos mapas de uso da terra**

As imagens orbitais foram processadas digitalmente no software Erdas. O processamento digital ocorreu após o georreferenciamento das imagens e compreendeu os seguintes procedimentos: Composição RGB (obtenção de imagens coloridas a partir de imagens monocromáticas originais), Manipulação de Contraste (para melhorar a discriminação visual dos alvos); Classificação de padrões (Método Máxima Verossimilhança). Mapeamento de Classes; Medidas de Classes; Criação dos Mapas.

##### **4.3.4.1 – Classificação Supervisionada**

Uma área da imagem que o usuário identifica como representando uma das classes é chamada de amostra de treinamento. Várias amostras podem ser definidas para uma mesma classe, para assegurar que os pixels a ela pertencentes sejam representativos. Todos os pixels dentro de uma amostra para uma dada classe constituem um conjunto de treinamento para aquela classe (CRÓSTA, 1992). O DN (Número Digital) dos pixels dos conjuntos de treinamento em cada uma das bandas espectrais são comparados com os DN's de cada pixel da imagem, para decidir a qual classe estes pertencem. Este processo é chamado de Classificação Supervisionada. Existem diversos métodos nos quais os pixels desconhecidos podem ser comparados com os pixels do conjunto de treinamento. O produto final é uma imagem classificada, representando um mapa temático (SCHOWENGERDT, 1983). Existem vários métodos de classificação supervisionada, o do paralelepípedo, da distância mínima e o da máxima verossimilhança, sendo este último, o método escolhido para aplicabilidade no estudo.

#### 4.3.4.2 – Classificação pelo Método da Máxima Verossimilhança

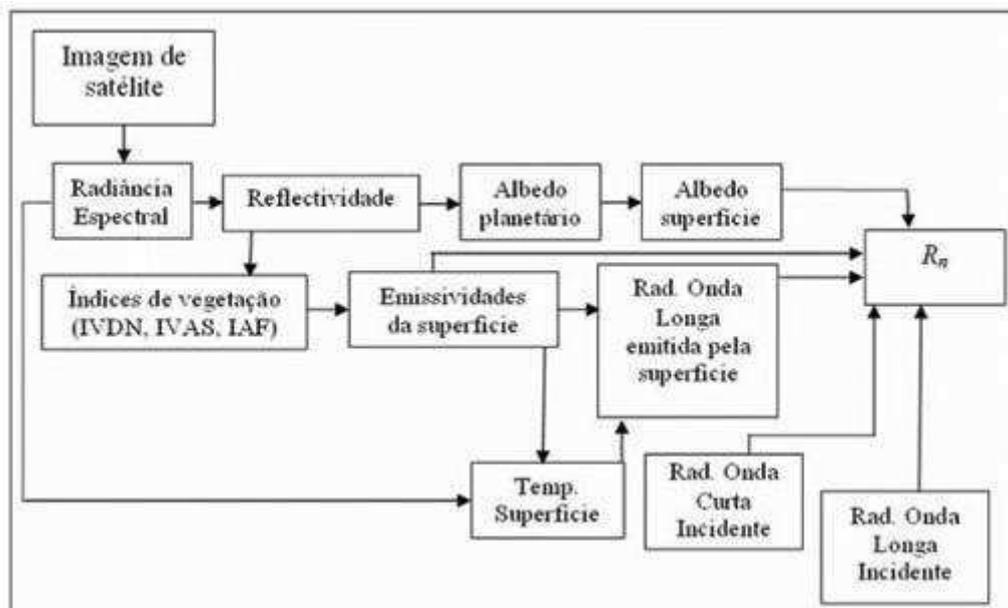
Este é o método tradicional mais comumente utilizado quando é necessária a obtenção de classes informacionais a partir de imagens de sensores remotos. A distribuição espectral das classes de uso do solo é considerada como sendo gaussiana ou normal, isto é, objetos pertencentes à mesma classe apresentarão resposta espectral próxima à média de valores para aquela classe. Este método parte do princípio que a classificação errada de um pixel não tem mais significado do que a classificação errada de qualquer outro pixel na imagem (RICHARDS, 1993). O método considera a ponderação das distâncias médias, utilizando parâmetros estatísticos de distribuição dos pixels dentro de uma determinada classe (CRÓSTA, 1992). Para a obtenção de um bom resultado com esta classificação é necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de pixels para cada amostra de treinamento da classe, e que estes tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal (CRÓSTA, 1993). Outro fator importante para a sua eficácia, é a obtenção de uma precisão razoável da estimativa do vetor médio e da matriz de covariância de toda a classe espectral. Fato este dependente da quantidade de pixels incluídos nas amostras de treinamento (SULSOFT, 2003).

#### **4.3.5 – Obtenção Do Saldo de Radiação (Rn)**

O cálculo para obtenção do saldo de radiação (Rn) se deu através da reflectância e emitância da radiação, sendo modelado como a soma dos componentes que chegam e que saem da superfície do solo. É necessário calcular os balanços de radiação de ondas curtas e ondas longas para se obter o Rn. O balanço de radiação de

ondas curtas é estimado com base em equações astronômicas junto com a estimativa da transmitância atmosférica e albedo. O balanço de ondas longas é modelado com base na temperatura do ar no tempo de passagem do satélite, na qual é considerada constante para toda a área de estudo. A radiação de ondas longas emitida pela superfície é derivada com a ajuda da temperatura da superfície e uma estimativa da emissividade da superfície tendo como base o NDVI.

O fluxograma (Figura 3) indica o passo a passo de todas as etapas do algoritmo SEBAL para o processamento do balanço de radiação à superfície.



**Figura 3** - Fluxograma das etapas do processamento para obtenção do balanço de radiação à superfície ( $R_n$ ).

#### 4.3.5.1 – Calibração Radiométrica

A calibração radiométrica é o processo de conversão do Número digital - DN de cada pixel da imagem, em radiância espectral monocromática  $L_\lambda$ . Para os canais 1, 2,

3, 4, 5 e 7 do Landsat 5 – TM, essas radiâncias monocromáticas representam a energia solar refletida por cada pixel. A calibração radiométrica é obtida utilizando a equação 1:

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) \times DN + L_{MIN} \quad (1)$$

Em que  $L_{MAX}$ ,  $L_{MIN}$  são constantes de calibração espectral e DN Número digital de cada pixel. Os valores das constantes de calibração espectral estão descritas no Quadro 4.

**Quadro 4.** Constantes de calibração espectral para o Landsat 5-TM, segundo Chander e Markham (2003).

BANDA	$L_{MIN} (Wm^{-2}ster^{-1}\mu m^{-1})$	$L_{MAX} (Wm^{-2}ster^{-1}\mu m^{-1})$
1	-1,52	193,0
2	-2,84	365,0
3	-1,17	264,0
4	-1,51	221,0
5	-0,37	30,2
6	1,2378	15,303
7	-0,15	16,5

#### 4.3.5.2 – Reflectância Monocromática

A reflectância monocromática representa a porção da radiação solar, de cada banda ou canal, que é refletida. Para obtê-la utiliza-se a equação 2:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos\theta \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde o ESUN (Quadro 5) é a constante solar monocromática associada a cada banda do sensor. Já o  $d_r$  é encontrado através da equação 3, onde DJ é o número de cada dia no calendário Juliano.

$$d_r = 1 + 0,33 \cdot \cos\left(DJ \frac{2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

**Quadro 5.** Valores do ESUN ( $W m^{-2}\mu m^{-1}$ ) válidos para o Landsat-5

-	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Landsat 5	1957	1826	1554	1036	215,0	-	80,67

#### 4.3.5.3 – Albedo Planetário

O albedo planetário (Equação 4) representa o albedo não corrigido de cada pixel da imagem. Para a obtenção do albedo, com base na refletância de bandas que não cobrem totalmente o espectro de 0,3  $\mu m$  a 3,0  $\mu m$ , é utilizada uma combinação linear das refletâncias planetárias obtidas na etapa anterior, segundo procedimento utilizado por Bastiaanssen (1995).

$$\alpha_{top} = 0,293 \cdot \rho_1 + 0,274 \cdot \rho_2 + 0,233 \cdot \rho_3 + 0,157 \cdot \rho_4 + 0,033 \cdot \rho_5 + 0,011 \cdot \rho_7 \quad (4)$$

Em que  $\rho$  representa as bandas do sensor TM do Landsat 5.

#### 4.3.5.4 - Albedo da Superfície

O albedo da superfície representa a razão entre a radiação solar refletida pela radiação solar incidente na superfície. A equação 5 indica como se obter o valor do albedo da superfície.

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path\_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Em que  $\alpha_{path\_radiance}$  é porção da radiação solar refletida pela atmosfera segundo Bastiaanssen.

$$\alpha_{path\_radiance} = 0,03$$

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times z.$$

#### 4.3.5.5 – Índices de Vegetação (NDVI, NDWI, NDBI, IVAS e IAF)

De acordo com Chen et al. (2006), esses índices podem ser usados para classificar diferentes classes de cobertura do solo (por exemplo, a vegetação, a água, área construída), definindo os valores limites adequados. O índice varia de valor, para diferentes tipos de cobertura do solo, não é constante, o que terá poucas mudanças em regiões diferentes ou em diferentes condições de clima e precipitação. Às vezes, vários índices são integrados para diferenciar classes de cobertura do solo.

O NDVI é um índice comumente usado em dados remotos para dar uma indicação do vigor da vegetação. Para a obtenção do NDVI ou IVDN é necessário a utilização da equação 6:

$$NDVI = (\rho(\text{banda4}) - \rho(\text{banda3})) / (\rho(\text{banda4}) + \rho(\text{banda3})) \quad (6)$$

Em que,  $\rho$  representa a radiância em unidades de reflectância, banda3 e banda4 representam as bandas espectrais nas imagens do Landsat.

O NDWI (Equação 7) é um Índice de Água por Diferença Normalizada, também chamada de índice de área foliar de água ausente, o que implica o teor de água dentro da vegetação (GAO, 1996; JACKSON et al., 2004; ZARCO-TEJADA et al.,

2003; MAKI et al., 2004) e do teor de água na vegetação (MAKI et al., 2004). Em experimentos de umidade do solo em 2002, o NDWI foi utilizado para avaliar o teor de água da vegetação para uma pesquisa em uma região árida.

$$NDWI = (\rho(\text{banda4}) - \rho(\text{banda5})) / (\rho(\text{banda4}) + \rho(\text{banda5})) \quad (7)$$

Em que,  $\rho$  representa a radiância em unidades de reflectância, banda4 e banda5 representam as bandas espectrais nas imagens do Landsat.

Outro índice, NDBI (Zha et al., 2003) na equação (8), foi introduzido no presente estudo, o qual é sensível à área construída.

$$NDBI = (\rho(\text{banda5}) - \rho(\text{banda4})) / (\rho(\text{banda5}) + \rho(\text{banda4})) \quad (8)$$

Os índices de vegetação são indicativos das condições, da densidade e do porte da vegetação em geral. Utiliza-se o Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI) já encontrado na equação 6, e calcula-se o Índice de Vegetação com Ajuste do Solo (IVAS) e o Cálculo do Índice de Área Foliar (IAF). Para obter esses índices utilizam-se as equações 9 e 10:

$$IVAS = (1 + L)(\rho_4 - \rho_3) / (L + \rho_4 + \rho_3) \quad (9)$$

Onde,

$L = 0,5$  (Huete, 1988);

$$IAF = - \frac{\ln \left( \frac{0,69 - IVAS}{0,59} \right)}{0,91} \quad (10)$$

#### 4.3.5.6 – Obtenção das Emissividades

Para obter as emissividades, é necessário ter os resultados do IAF, pois serão utilizados nos cálculos das mesmas. São dois tipos de emissividade a serem calculadas, a termal e a da superfície. Para obter a emissividade termal e da superfície utilizamos as equações 11 e 12:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331.IAF \quad (\text{Termal}) \quad (11)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01.IAF \quad (\text{Superfície}) \quad (12)$$

Considerações:

- $\varepsilon_{NB} = 0,98$ , quando  $IAF \geq 3$
- $\varepsilon_{NB} = 0,99$  e  $\varepsilon_0 = 0,985$ , quando para  $NDVI < 0$ , caso de corpos de água, (Allen et al., 2002).

#### 4.3.5.7 – Temperatura da Superfície

A temperatura obtida através da imagem de satélite pode ser utilizada para representar a distribuição dos campos de temperatura da superfície. Desde que se reconheça que o teor de vapor de água que varia ao longo do tempo, devido à mudança nas condições atmosféricas. Não é apropriado comparar diretamente a temperatura representada pelas imagens com a temperatura entre vários períodos distintos (CHEN et al., 2006).

Chen et al. (2002) propuseram um método de derivar temperatura de superfície em dois passos:

- Em primeiro lugar, os valores digitais (DNs) de banda 6 são convertidos para a luminância da radiação (RTM6,  $mW\ cm^{-2}sr^{-1}$ ) utilizando a equação 13:

$$RTM6 = \frac{V}{255} (R_{max} - R_{min}) + R_{min} \quad (13)$$

Em que V representa o DN band6, e  $R_{max} = 1.896 \text{ (mW cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}\text{)}$ ,  $R_{min} = 0.1534 \text{ (mW cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}\text{)}$ .

- Em seguida, a luminância da radiação é convertida para a temperatura de superfície, em Kelvin, T (K), pela equação 14:

$$T = \frac{K_1}{\ln(K_2 / (\frac{RTM6}{b+1}))} \quad (14)$$

Em que  $K_1 = 1260.56 \text{ K}$  e  $K_2 = 60.766 \text{ (mW cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}\text{)}$ , são constantes pré-lançadas na calibração,  $b$  representa gama espectral eficaz, quando a resposta do sensor é muito maior que 50%,  $b = 1,239 \text{ (}\mu\text{m)}$ .

Para a obtenção da temperatura (Equação 15) da superfície, usualmente é utilizada uma expressão que representa certa aproximação da equação de Planck invertida. No entanto, como cada pixel não emite, efetivamente, radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de corrigir a radiância medida pela banda termal do Landsat 5 – TM.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(\frac{\epsilon N B K_1}{L_{\lambda,6}} + 1)} \quad (15)$$

Onde,

- $K_1 = 607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr } \mu\text{m}$
- $K_2 = 1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr } \mu\text{m}$

#### 4.3.5.8 – Radiação de Onda Longa Emitida ( $R_{L\uparrow}$ )

A radiação de onda longa emitida (Equação 16) é calculada a partir do fluxo de radiação termal emitida pela superfície e foi calculada segundo (BASTIAANSSEN, 1995; MORSE et al., 2001; ALLEN et al., 2002):

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad (16)$$

#### 4.3.5.9 – Radiação de Onda Longa Incidente ( $R_{L\downarrow}$ )

A radiação de onda longa incidente é aquela cujo é emitida pela atmosfera na direção da superfície e foi calculada de acordo com a equação 17.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (17)$$

$$\text{Onde } \varepsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,09}$$

Em que  $\varepsilon_a$  e  $T_a$  representam a emissividade e a temperatura de cada pixel da imagem, e  $\sigma$  é a constante de Stefan – Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-11} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).

#### 4.3.5.10 – Radiação de Onda Curta Incidente ( $R_{S\downarrow}$ )

A radiação de onda curta incidente  $R_{S\downarrow}$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) na área selecionada foi calculada segundo equação 18 (BASTIAANSSEN, 1995; ALLEN et al., 2002; MORSE et al., 2001; SILVA et al., 2002):

$$R_{S\downarrow} = G_{SC} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (18)$$

Em que  $G_{SC}$  é a constante solar ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ ),  $Z$  é o ângulo zenital solar, que é fornecido pelo cabeçalho da imagem,  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol, e  $\tau_{sw}$  é a transmitância atmosférica.

#### 4.3.5.11 – Obtenção do Saldo de Radiação ( $R_n$ )

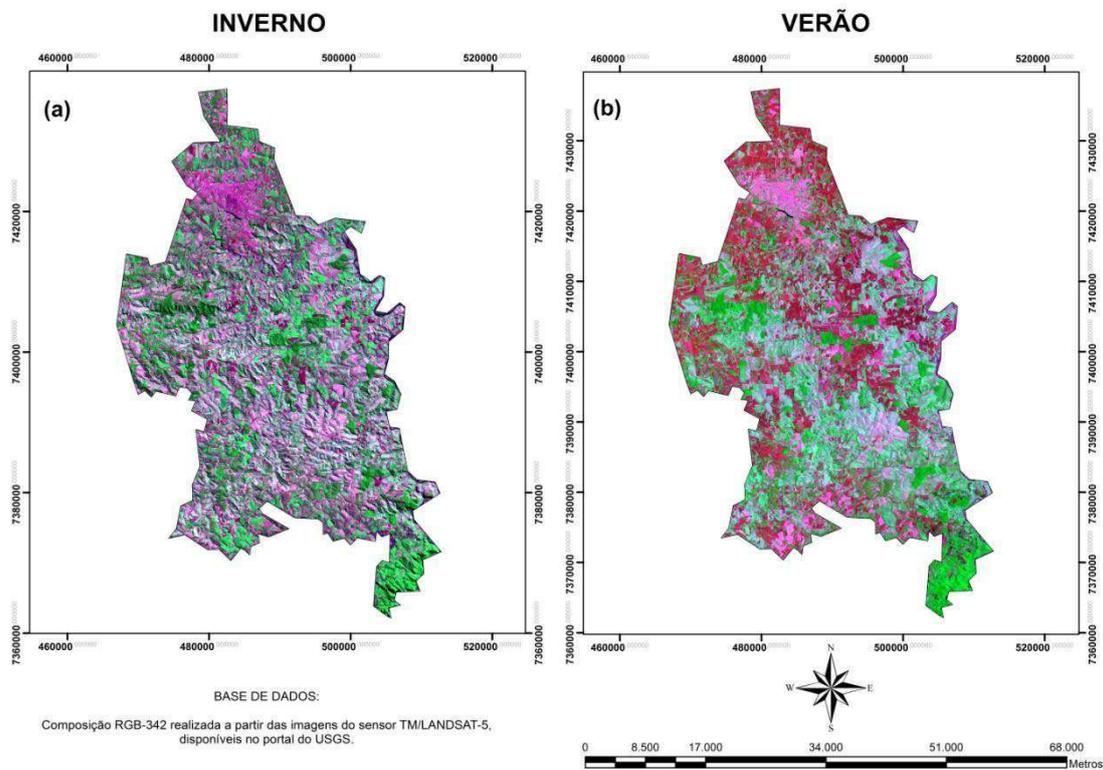
O Balanço de radiação à superfície –  $R_n$  é obtido após a realização de todas as etapas previstas por (BASTIAANSEN, 1995; MORSE et al., 2001; ALLEN et al., 2002; SILVA et al., 2002). A equação 19 indica como obter o saldo de radiação da superfície.

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (19)$$

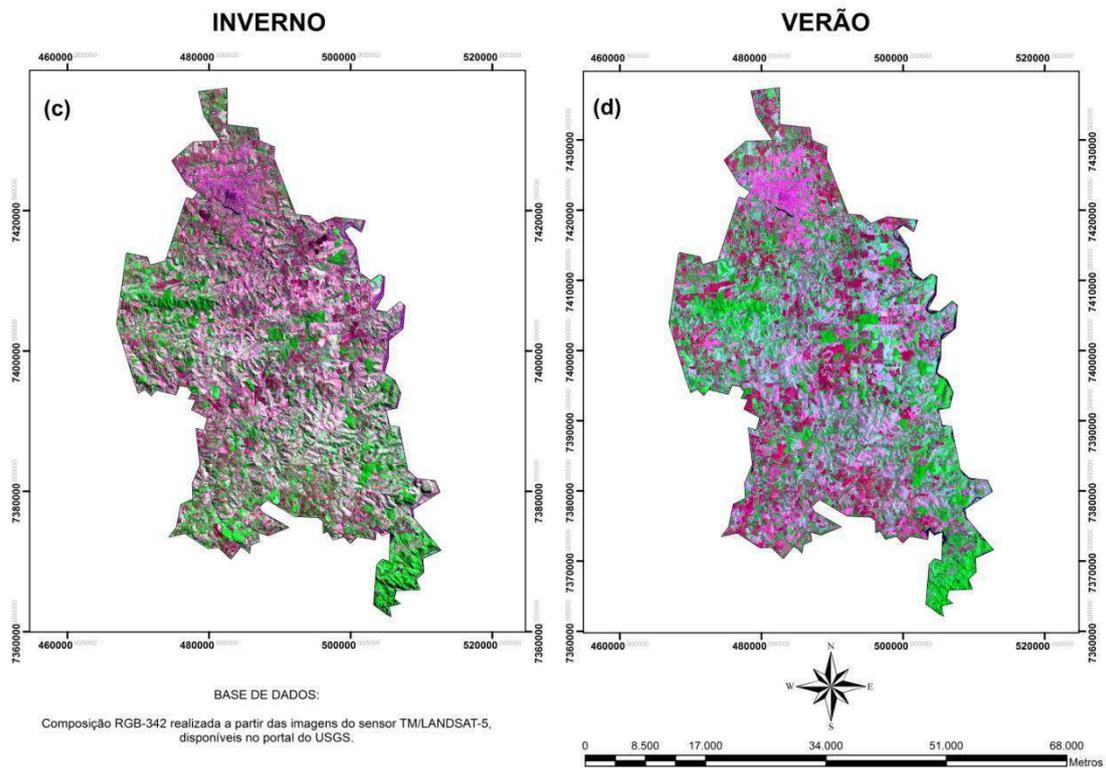
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 – CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

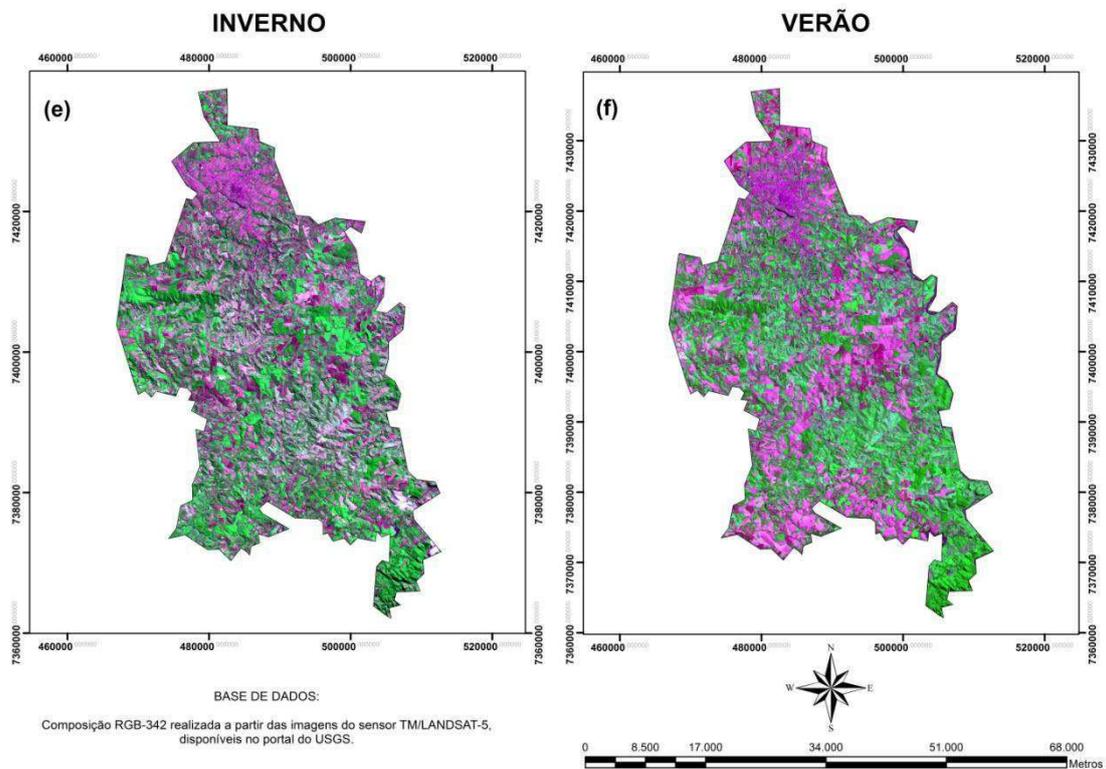
Utilizando imagens dos anos 1985/86, 1995/96 e 2007 (inverno/verão) do satélite Landsat-5 sensor TM (Figuras 4, 5 e 6), foram realizados procedimentos de georreferenciamento, reamostragem e recorte, no qual os produtos obtidos foram as composições RGB do município de Londrina/PR.



**Figura 4:** Composição RGB-342 do Município de Londrina/PR. (a) Inverno de 1986 e (b) Verão de 1985.

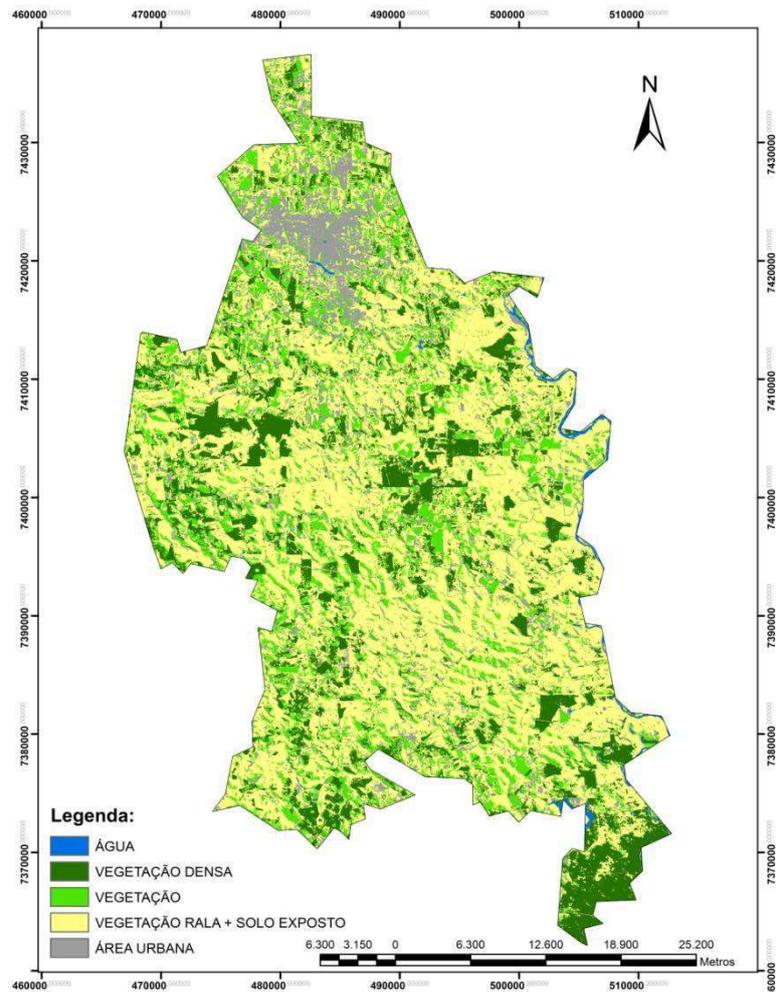


**Figura 5:** Composição RGB-342 do Município de Londrina/PR. (c) Inverno de 1996 e (d) Verão de 1995.

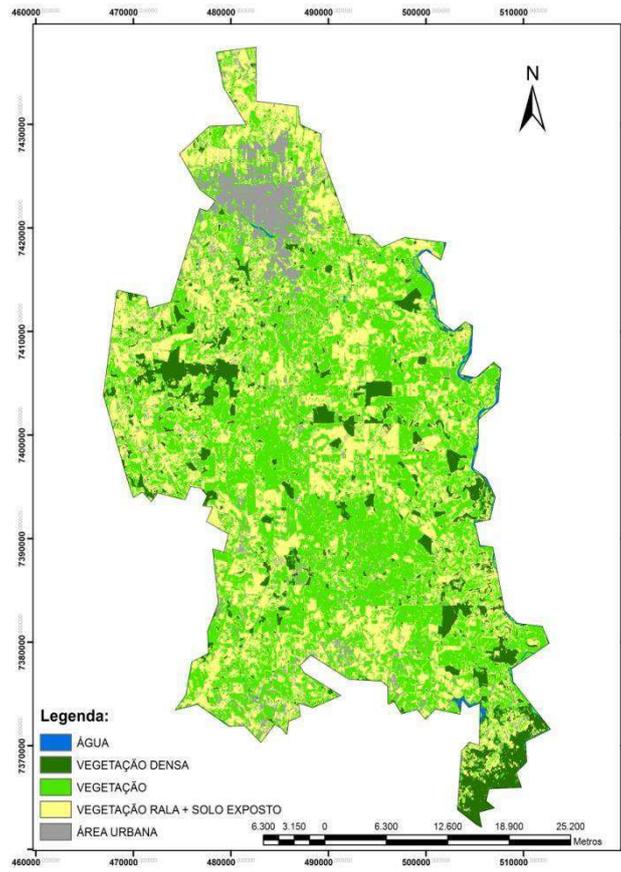


**Figura 6:** Composição RGB-342 do Município de Londrina/PR. (e) Inverno de 2007 e (f) Verão de 2007.

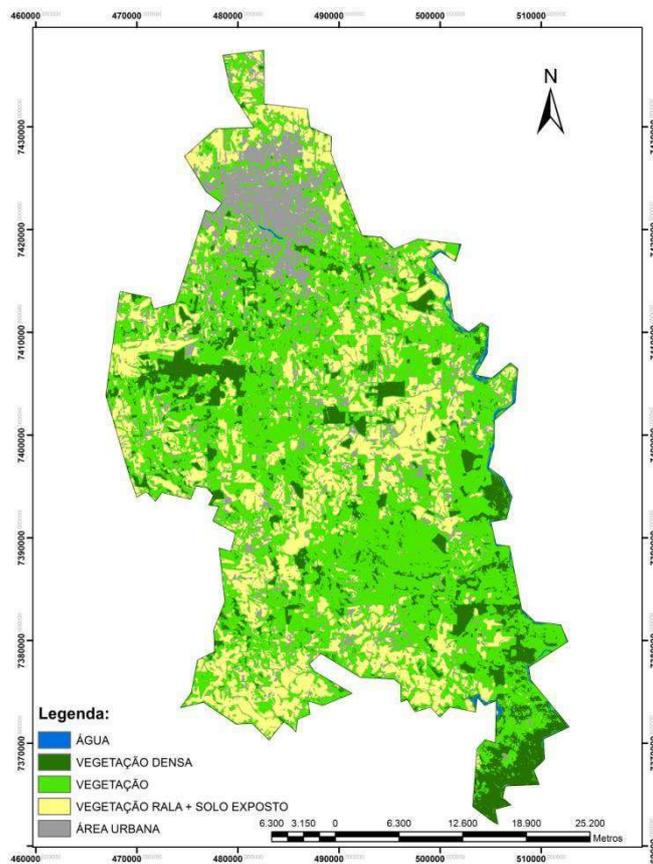
A classificação supervisionada (Figuras 7, 8 e 9) foi realizada apenas com imagens do período mais quente (verão) para os anos de 1985, 1995 e 2007, utilizando o método Máxima Verossimilhança, em 5 classes: Água, Vegetação Densa, Vegetação, Vegetação Rala + Solo Exposto e Área Urbana.



**Figura 7:** Mapa de uso e ocupação do solo no município de Londrina-PR em 11/11/1985.

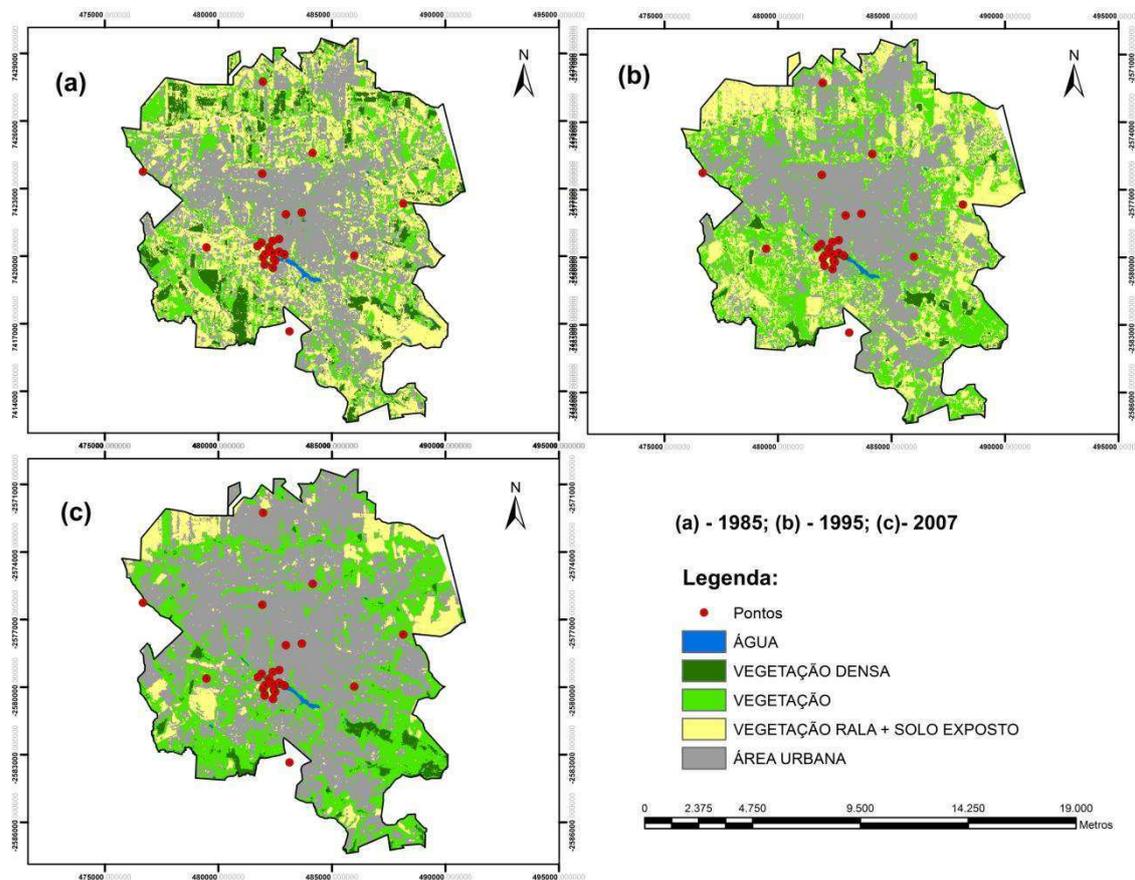


**Figura 8:** Mapa de uso e ocupação do solo no município de Londrina-PR em 09/12/1995.



**Figura 9:** Mapa de uso e ocupação do solo no município de Londrina-PR em 29/03/2007.

As figuras 7, 8 e 9 indicam a ocupação do solo no município de Londrina, onde é possível constatar, que a malha urbana teve um crescimento acentuado em um período de 22 anos. Para entender melhor o processo de crescimento da cidade de Londrina, foram feitos os recortes (Figura 10) apenas da área de interesse (zona urbana) do município, contendo pontos com informação de temperatura coletados in loco, para identificar áreas propícias à formação das ICU. A Tabela 1 mostra o percentual de cada área para os anos de 1985 a 2007 e a alteração observada nesse período.



**Figura 10:** Classificação do Uso e Ocupação do Solo da zona urbana de Londrina-PR em 1985, 1995 e 2007.

**Tabela 1:** Percentual dos diferentes tipos de uso e ocupação do solo da cidade de Londrina/PR no período (1985-2007).

(%)	1985	2007	Alteração
ÁGUA	0,33	0,35	0,02
VEGETAÇÃO DENSA	8,47	2,58	-5,89
VEGETAÇÃO	20,08	31,57	11,49
VEGETAÇÃO RALA + SOLO EXPOSTO	31,74	9,24	-22,5
ÁREA URBANA	39,11	56,26	17,15

**Tabela 2:** Dados de população do Censo de 1991, 1996 e 2006. Fonte: IBGE (2014).

Município	1991 (habitantes)	1996 (habitantes)	2006 (habitantes)
Londrina	390.100	411.800	497.833

Na figura 10 é possível identificar a expansão territorial da malha urbana de Londrina no período entre 1985 a 2007, apresentando um crescimento superior a 17% (Tabela 1). Percebe-se que nas regiões onde foram coletados dados de temperatura in loco, houve um forte crescimento da malha urbana e conseqüentemente a redução das áreas verdes, contribuindo assim para o aprisionamento do calor nestes locais. Nota – se que as classes de vegetação densa e vegetação rala + solo exposto foram ao longo dos anos substituídas principalmente pela área urbana. O processo de urbanização acontece de maneira muito semelhante independentemente de sua localização. A vegetação perde espaço para a vegetação rala e solo exposto, estes conseqüentemente perdem espaço para construções e edificações.

O aumento da população do município de Londrina explica essa expansão, em 1991 de acordo com o IBGE (Tabela 2) eram 390.000 habitantes, sendo mais de 90%

das pessoas vivendo na zona urbana. Já em 2007, o número oficial de habitantes era de 497.833, onde mais de 95% deles se concentram na área urbana do município. Pôde – se constatar ainda que a vegetação do tipo rala + solo exposto foi drasticamente substituída por malha urbana, apresentando uma redução de 22,5% da área total.

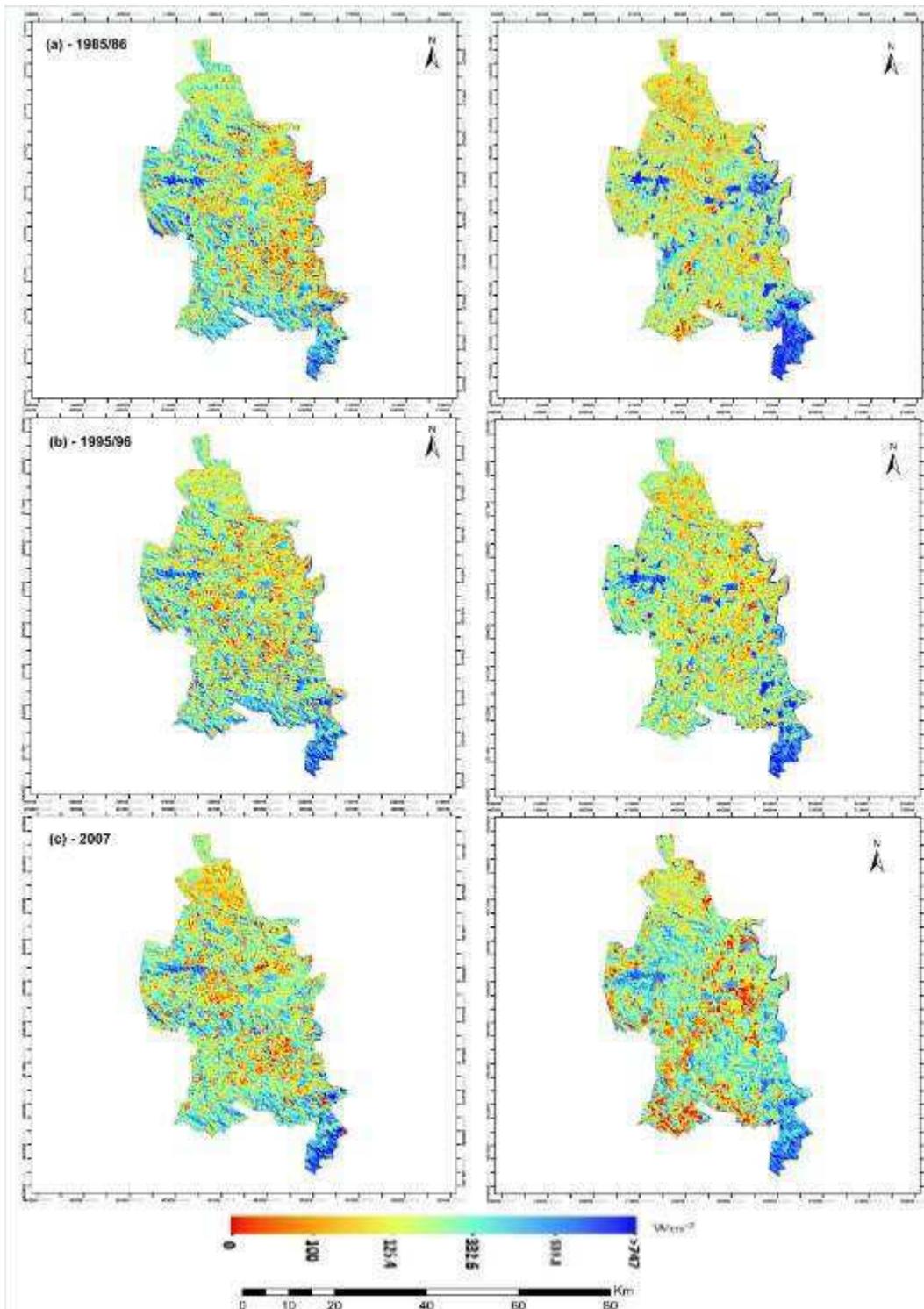
## 5.2 – OBTENÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO ( $R_n$ )

Para determinar o saldo de radiação ( $R_n$ ) (Figura 11), foi utilizado o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) desenvolvido por Bastiaanssen (1995), utilizando dados de sensores remotos. O  $R_n$  foi calculado com o intuito de identificar e comparar valores da classe área urbana com as demais classes de uso do solo para o município de Londrina.

De acordo com Amanajás et al. (2013), o  $R_n$  exerce um papel fundamental nos métodos que estimam a evapotranspiração, componente essencial do balanço hídrico. As áreas que representam menor saldo estão variando do vermelho ao amarelo, ocorrendo o contrário com as áreas em azul. Os resultados desse estudo foram semelhantes aos encontrados por Amanajás et al. (2013), indicando maiores valores de  $R_n$ , ou seja, menores valores da radiação de onda longa foram observados na água, resultantes do baixo albedo e alta absorção radiativa (alto calor específico). Áreas vegetadas também apresentaram altos valores de  $R_n$ , pois o albedo destas superfícies foi baixo, bem como a emissão da radiação infravermelha. Já os menores valores de  $R_n$  (maiores valores da radiação de onda longa) ocorreram em áreas de solo exposto, vegetação rala e zona urbana.

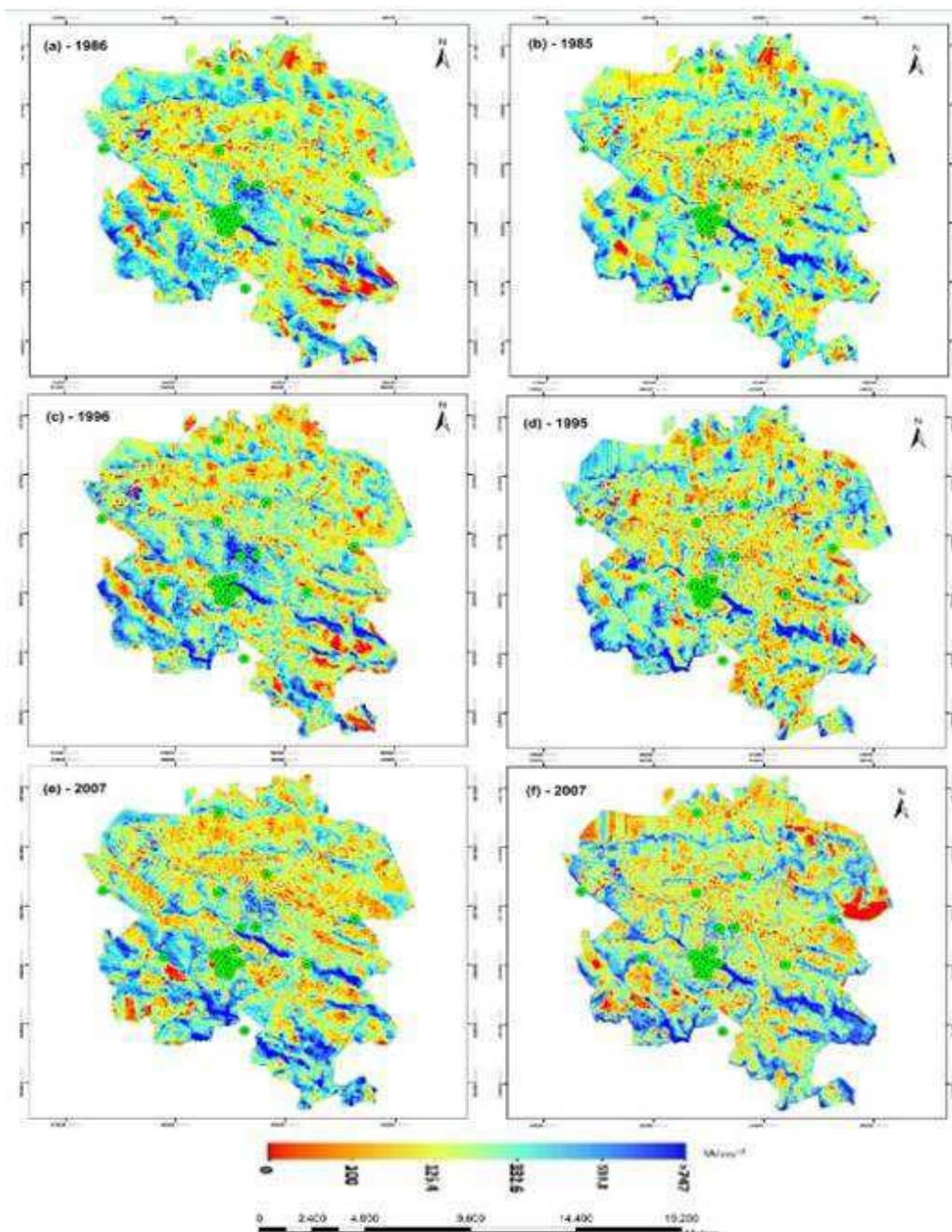
Os maiores valores de  $R_n$  encontram-se sobre os corpos hídricos e vegetação, já os menores valores encontram-se sobre os demais tipos de superfícies. Nota-se que

no ano de 2007 os números de pixels com maiores valores da radiação de onda longa (menor  $R_n$ ) foram consideravelmente superiores aos demais anos estudados.



**Figura 11:** Distribuição espacial do Saldo de Radiação ( $R_n$ ) para o município de Londrina.

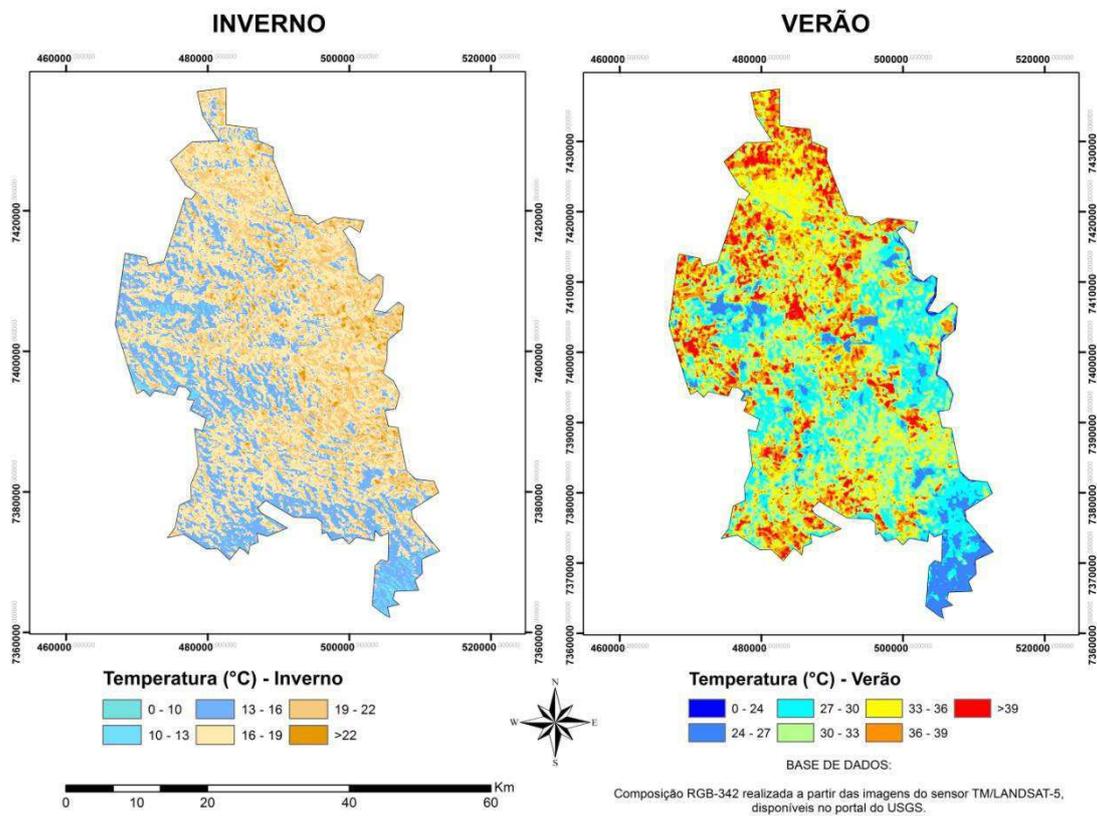
Para identificar a distribuição do Rn na cidade de Londrina, foi realizado o procedimento de recorte da malha urbana (Figura 12). Os menores valores de Rn estão localizados nas áreas com maior aglomerado urbano, composto por muito concreto e edificações. É possível verificar que com o passar dos anos, os pixels com menores valores de Rn apresentam-se em maior quantidade, fato que aponta para um aprisionamento do calor nessas regiões.



**Figura 12:** Distribuição espacial do Saldo de Radiação (Rn) para a cidade de Londrina.

### 5.3 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE SOBRE DIFERENTES USOS E OCUPAÇÕES DO SOLO

Para entender sobre o efeito das atividades antrópicas sobre o aquecimento e ilha de calor urbana, se faz necessário entender as mudanças de temperatura da superfície nas diferentes classes de uso e ocupação do solo, realizando as correções necessárias para as condições atmosféricas entre os tempos de aquisição das imagens Landsat. Para isto, foi calculada a temperatura da superfície do município de Londrina (Figuras 13, 14 e 15) utilizando o algoritmo SEBAL.



**Figura 13:** Distribuição Espacial da temperatura (inverno e verão) no anos de 1985/86.

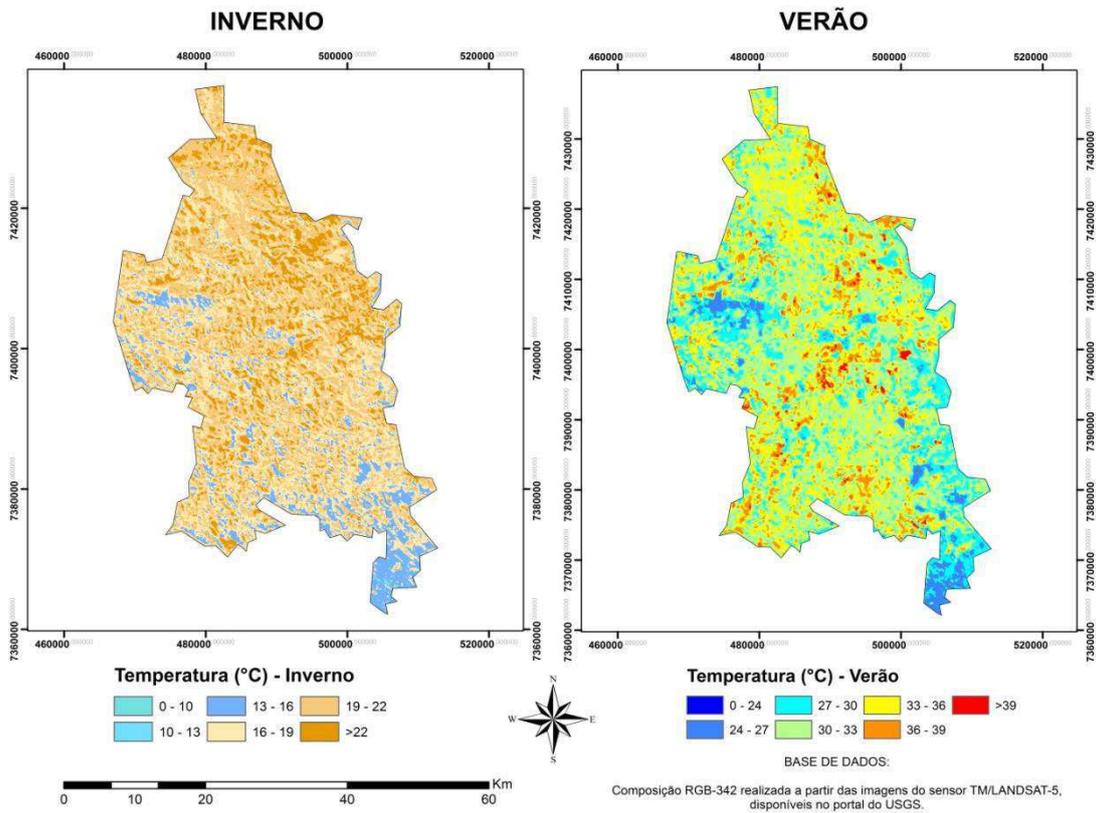


Figura 14: Distribuição Espacial da temperatura (inverno e verão) no anos de 1995/96.

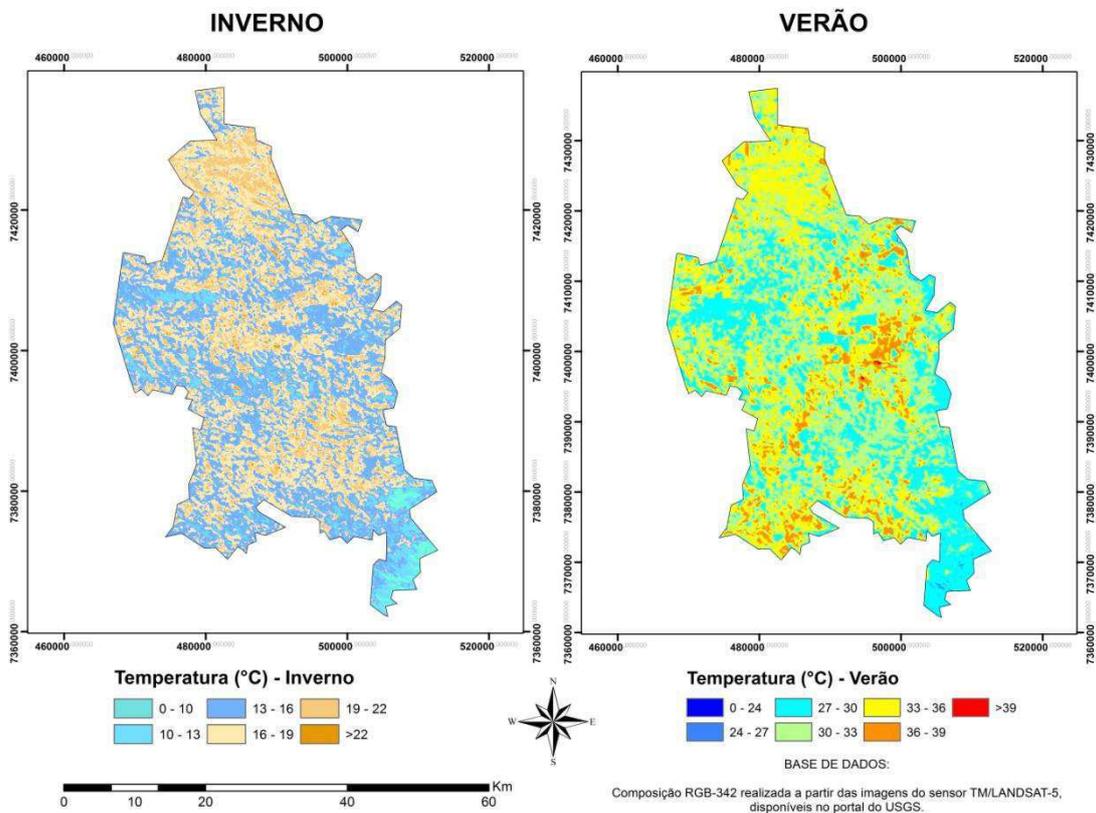
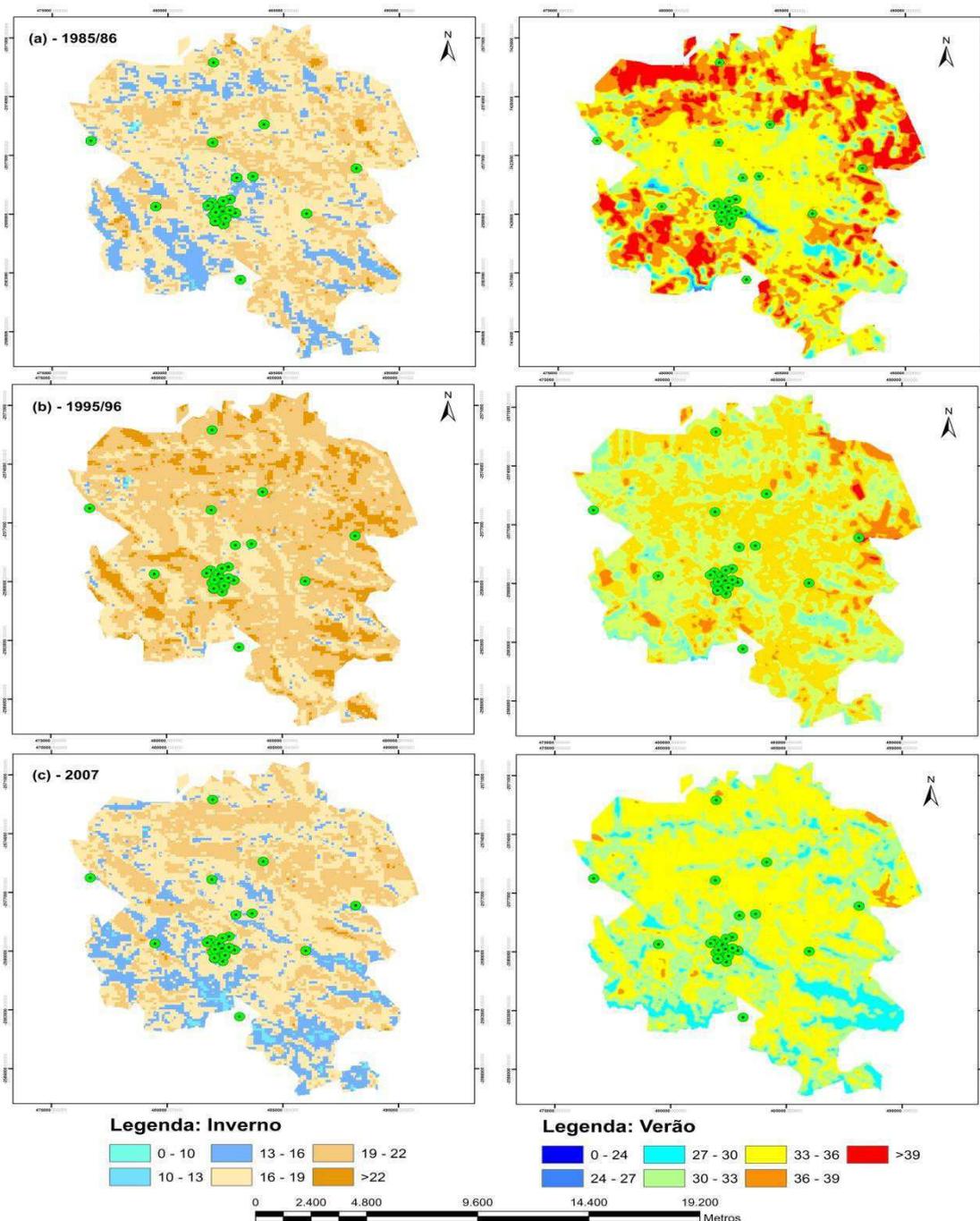


Figura 15: Distribuição Espacial da temperatura (inverno e verão) em 2007.

Existe uma diferença significativa na temperatura da superfície entre os períodos de inverno e verão. Embora o inverno seja o período de menor precipitação média, as temperaturas são baixas, já no verão apesar de apresentar maior precipitação média, as temperaturas são bem elevadas. Foram realizados procedimentos de recorte de imagens apenas da área urbana de Londrina (Figura 16), com o intuito de identificar as áreas com maior incidência de calor.



**Figura 16:** Distribuição Espacial da temperatura (inverno e verão) na cidade de Londrina/PR.

De acordo com os resultados obtidos, verificou – se que os anos de 1985/86 as temperaturas alcançaram valores extremos (inverno e verão) em relação aos outros anos estudados. Neste período, o inverno foi marcado por temperaturas mais baixas que a média, variando entre 10°C a 15°C, e o verão com temperaturas acima da média superando os 39°C.

A Figura 16 apresenta no inverno alguns pontos em laranja, representando a variação de temperatura superior a 22°C, que tratando – se de inverno são temperaturas muito elevadas, dando indícios que nesses pontos existem ICU. Pôde – se confirmar a temperatura fora da normalidade e a presença das ICU no verão, onde os pontos mais quentes durante o inverno foram conseqüentemente os que apresentaram maiores valores no verão.

Foi possível identificar nos anos de 1995/96 (Figura 16 (b)), um inverno mais quente em relação aos outros anos estudados, com temperaturas superiores a 22°C na maior parte da área urbana, com poucos pontos apresentando uma temperatura próxima dos 30°C, já no verão predominaram temperaturas da superfície no intervalo entre 30°C a 35°C, chegando em alguns casos a aproximadamente 40°C.

O inverno de 2007 (Figura 16 (c)) apresentou temperaturas fora da normalidade na área urbana, indicando um possível aprisionamento do calor na cidade de Londrina. As temperaturas nesse período variaram entre 13°C a aproximadamente 22°C, mas em alguns pontos foi possível identificar temperaturas acima dos 25°C, indicando possivelmente a presença de ICU nessas áreas. As classes de vegetação rala + solo exposto e área urbana tiveram temperaturas mais elevadas que as demais áreas.

Esses resultados estão de acordo com Chen et al. (2006), indicando que o padrão espacial das ilhas de calor mudam juntamente com a expansão do sistema urbano regional. Os centros de altas temperaturas concentram-se nas áreas construídas.

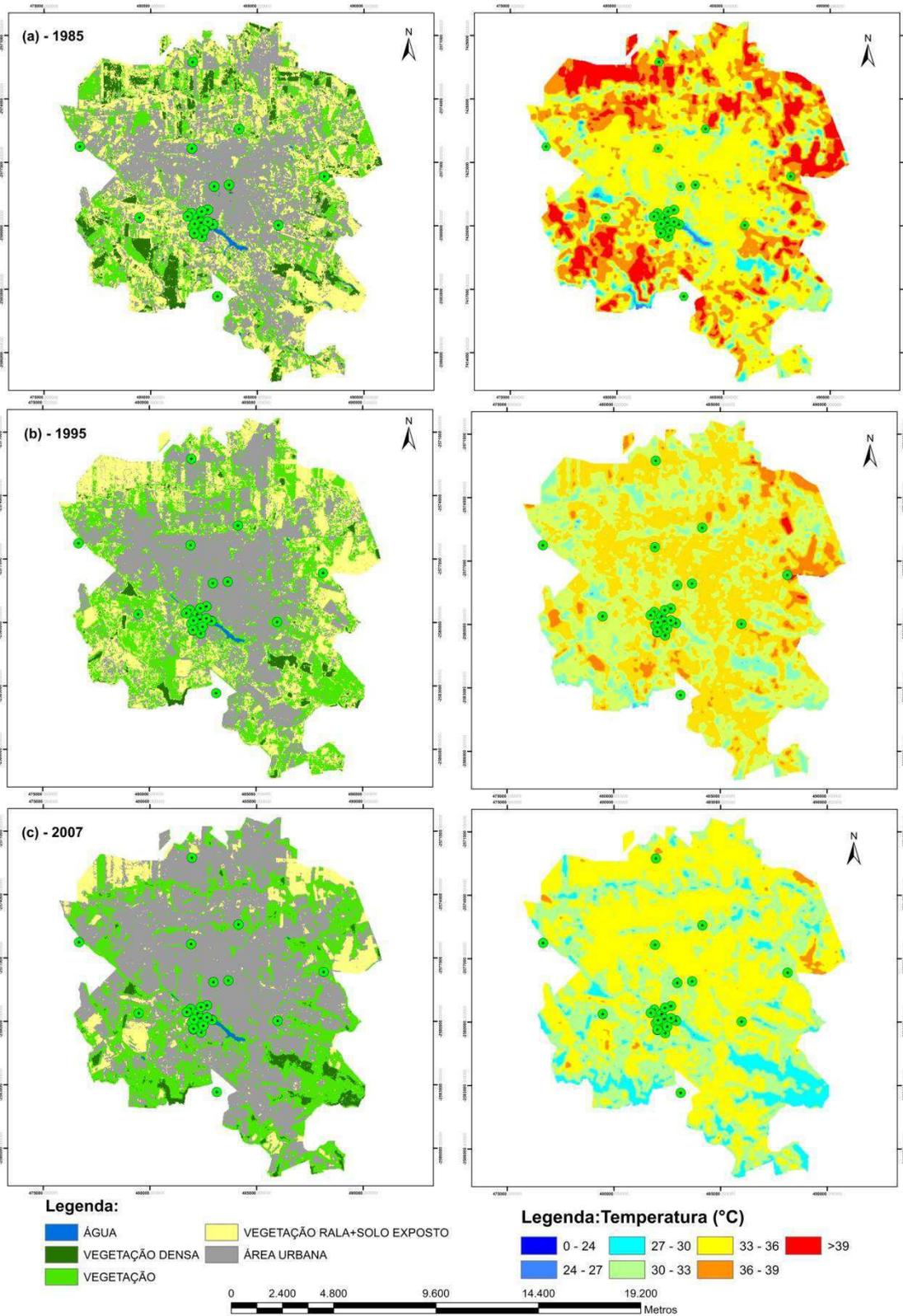
A Tabela 3 indica as variações da temperatura do ar no período quente (verão) da cidade de Londrina.

**Tabela 3:** Variações da temperatura do ar medida no verão de Londrina/PR: máxima, mínima e média, entre os anos de 1985 a 2007.

DATA	MÍNIMA (°C)	MÁXIMA(°C)	MÉDIA (°C)
11/11/1985	22,4	44,3	32,6
09/12/1995	24,5	41,1	31,9
29/03/2007	26,3	40,3	31,8

A temperatura média na cidade de Londrina não sofreu grandes alterações com o passar dos anos, porém nota-se que a temperatura mínima subiu gradativamente em torno de 4°C no período de 22 anos representando um aumento significativo, expondo problemas climáticos e ambientais, inclusive as ICU.

A relação entre temperatura da superfície e mudanças na distribuição do uso e ocupação do solo (Figura 17) na cidade de Londrina no período entre 1985 a 2007 indica a diminuição gradativa da vegetação e de solo exposto, sendo substituídos principalmente entre 1995 a 2007 por malha urbana, contribuindo ainda mais para o aumento e retenção de calor nessas áreas.



**Figura 17:** Relação entre temperatura da superfície e mudanças na distribuição do uso e ocupação do solo na cidade de Londrina/PR.

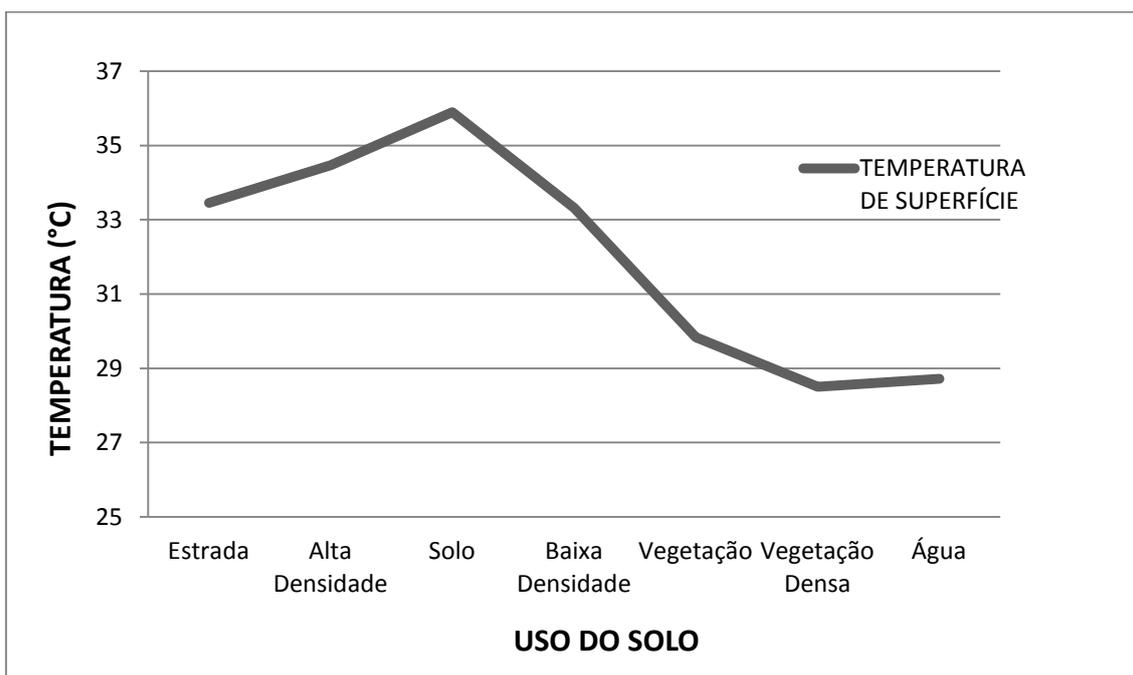
Foram coletadas informações referentes à temperatura em diversos pontos in loco, sendo agrupados em sua maioria nos locais com maiores atividades físicas e conseqüentemente, maiores focos de calor. Percebe-se que com o passar dos anos, as áreas desses pontos, sobretudo na região central, apresentou um aumento referente a áreas construídas.

A tabela 4 indica a diferença de temperatura entre área urbana e as diferentes classes na cidade de Londrina, tornando viável a identificação e quantificação das ilhas de calor urbano em relação às demais classes. Foram selecionados alguns pontos de cada classe e calculada a diferença de temperatura em relação à área urbana. A temperatura na malha urbana apresentou-se sempre bem mais elevada que os demais pontos selecionados, chegando a marcar mais de 8°C em comparação com a vegetação densa. Outro ponto que chamou a atenção foi à diferença de 7,7°C entre área urbana e vegetação rala + solo exposto em 2007.

**Tabela 4:** Diferença de temperatura de superfície entre diferentes classes em Londrina (°C). AU-A representa a diferença de temperatura entre a área urbana e a água, AU-VD representa a diferença entre a área urbana e a vegetação densa, AU-V representa a diferença entre a área urbana e a vegetação, AU-VRSE representa a diferença entre área urbana e vegetação rala + solo exposto.

DATA	CLASSES			
	AU-A (°C)	AU-VD (°C)	AU-V (°C)	AU-VRSE
11/11/1985	6,8	8,2	7,0	6,2
09/12/1995	4,5	7,4	5,1	4,5
29/03/2007	7,9	8,5	6,9	7,7

A Figura 18 demonstra o gráfico para o perfil da temperatura de superfície em alguns tipos de uso e ocupação do solo em 2007. As temperaturas mais altas estão nas áreas de solo exposto e alta densidade de edificações por volta dos 34°C a 37°C e nas estradas pavimentadas por volta de 33°C, mais um indicativo que são as áreas com maiores probabilidades de formação de ICU. Para os casos de vegetação densa, vegetação e água a temperatura gira em torno de 29°C.



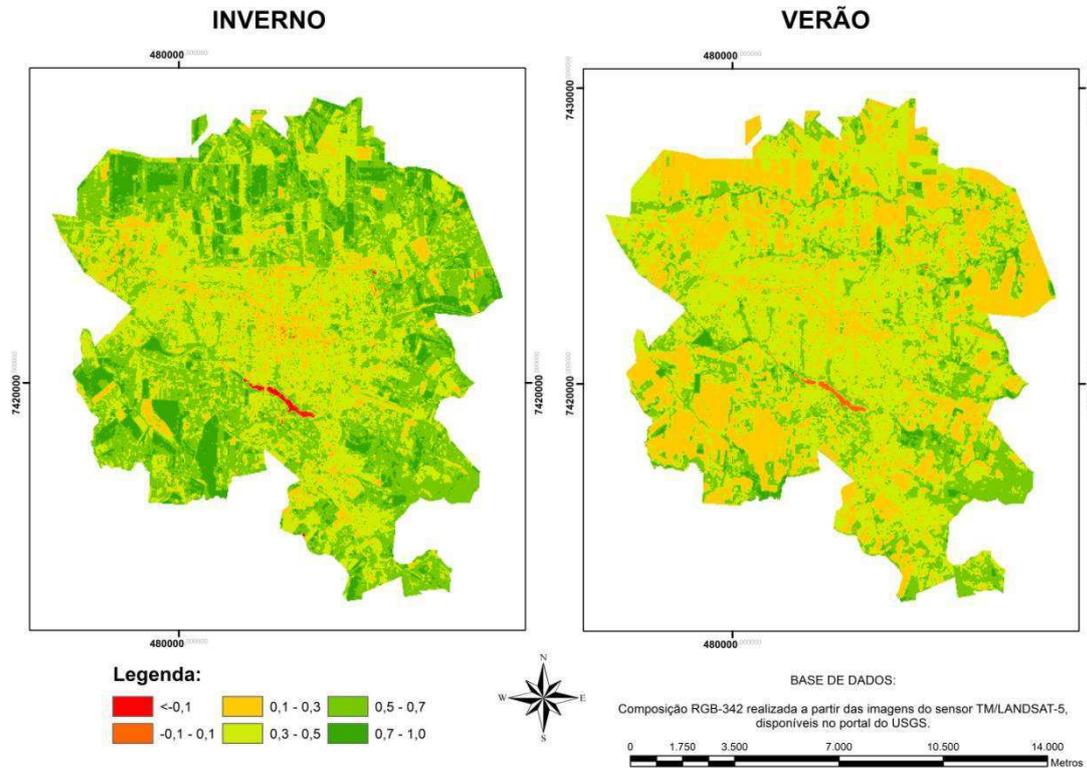
**Figura 18:** Temperatura média de diferentes tipos de classes de uso do solo para o ano de 2007.

#### 5.4 - RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E OS ÍNDICES NDWI, NDVI e NDBI.

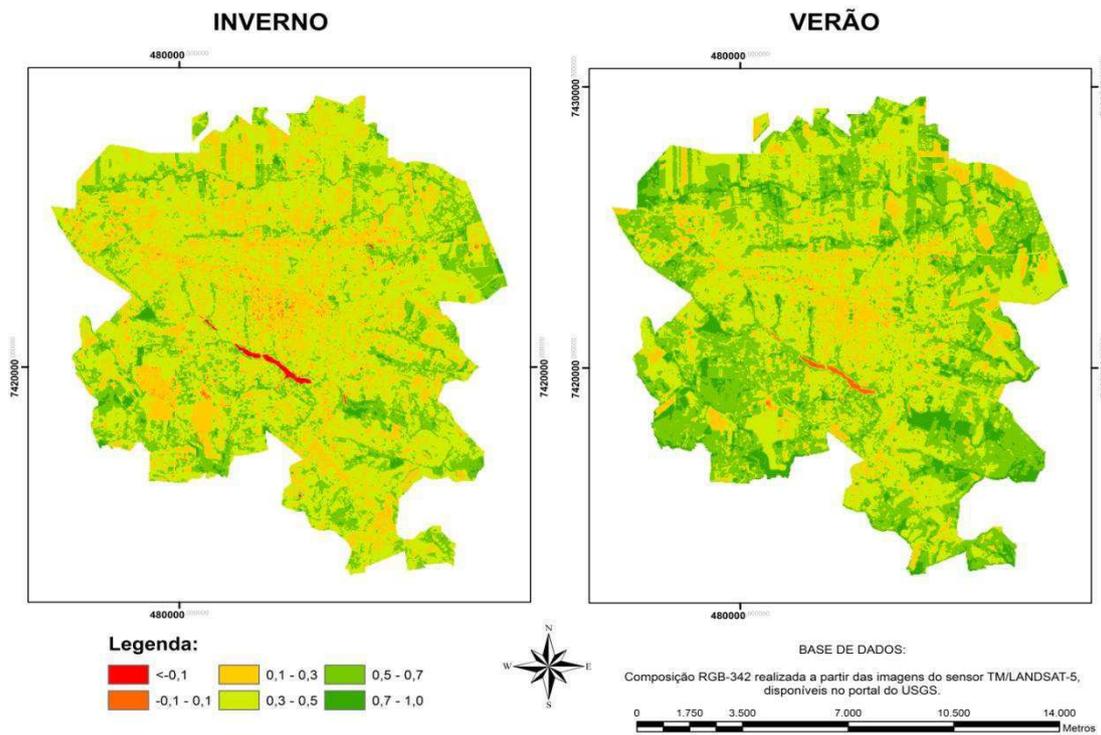
Utilizando modelos computacionais foi possível a obtenção de imagens relativas a cada índice. Em geral utilizam-se esses índices para a classificação do solo, o que não foi o caso deste trabalho. A utilização desses índices nesta pesquisa teve como objetivo realizar uma comparação com a temperatura a partir dos gráficos de dispersão.

Nas Figuras 19, 20 e 21 pode-se observar o NDVI município de Londrina, em que os valores variam de -1 (corpos hídricos) a 1 (vegetação densa), como esperado os valores acima de 0,5 indicam as áreas de vegetação. Os menores valores se concentram nas classes de área urbana, água e vegetação rala + solo exposto. As Figura 19, 20 e 21 mostram ainda que com o passar dos anos o índice de NDVI sofreu um decréscimo, principalmente na área urbana. Esse resultado é similar ao encontrado por GOMES

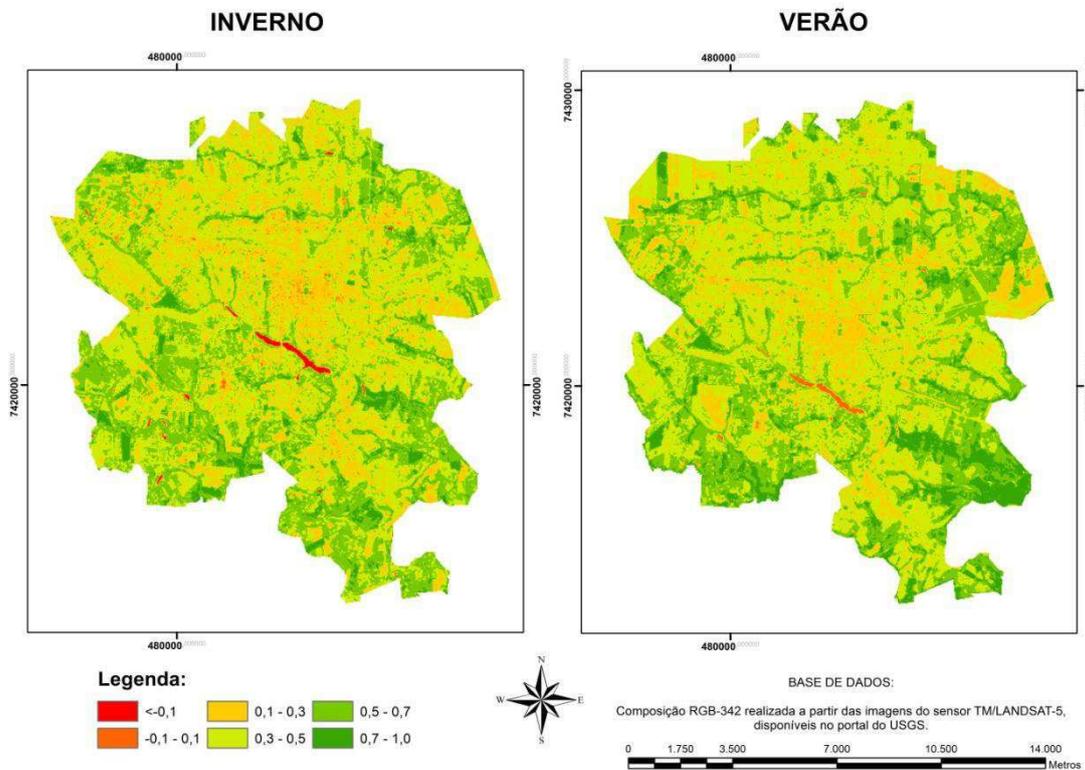
(2011), que observou um decréscimo no NDVI decorrente de ações antrópicas, quer seja pela retirada da vegetação ou pela substituição da área urbana ou por plantio de culturas.



**Figura 19:** Distribuição espacial do NDVI no município de Londrina em 1985/86.



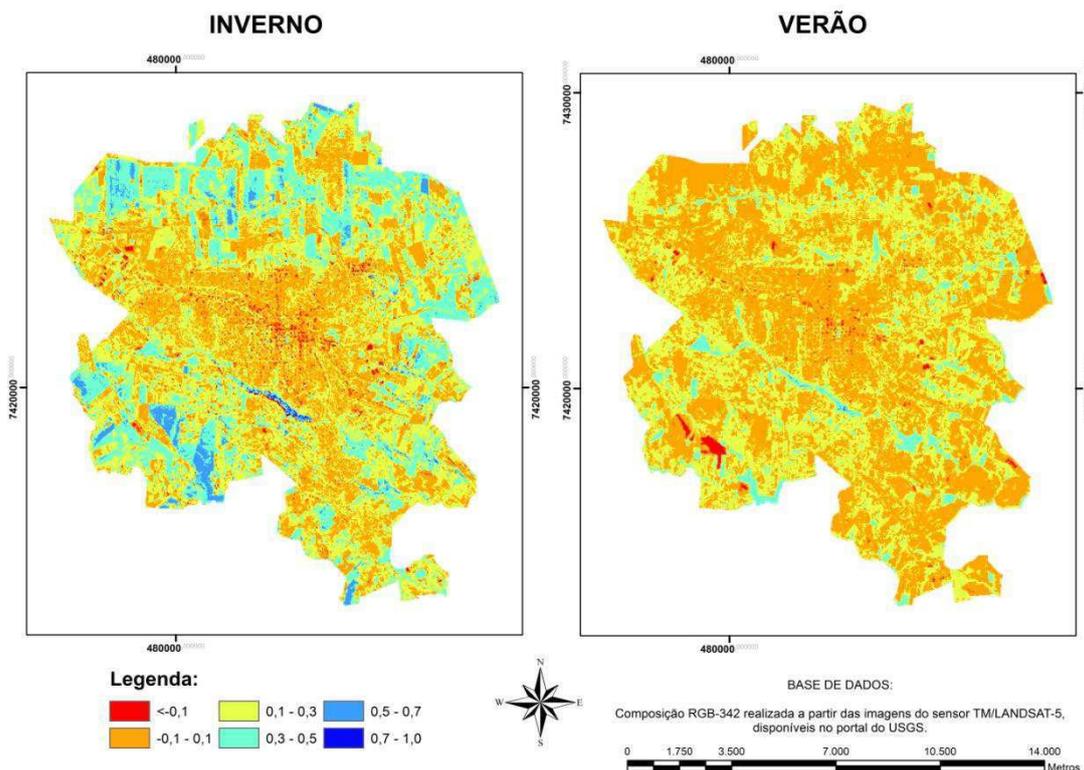
**Figura 20:** Distribuição espacial do NDVI no município de Londrina em 1995/96.



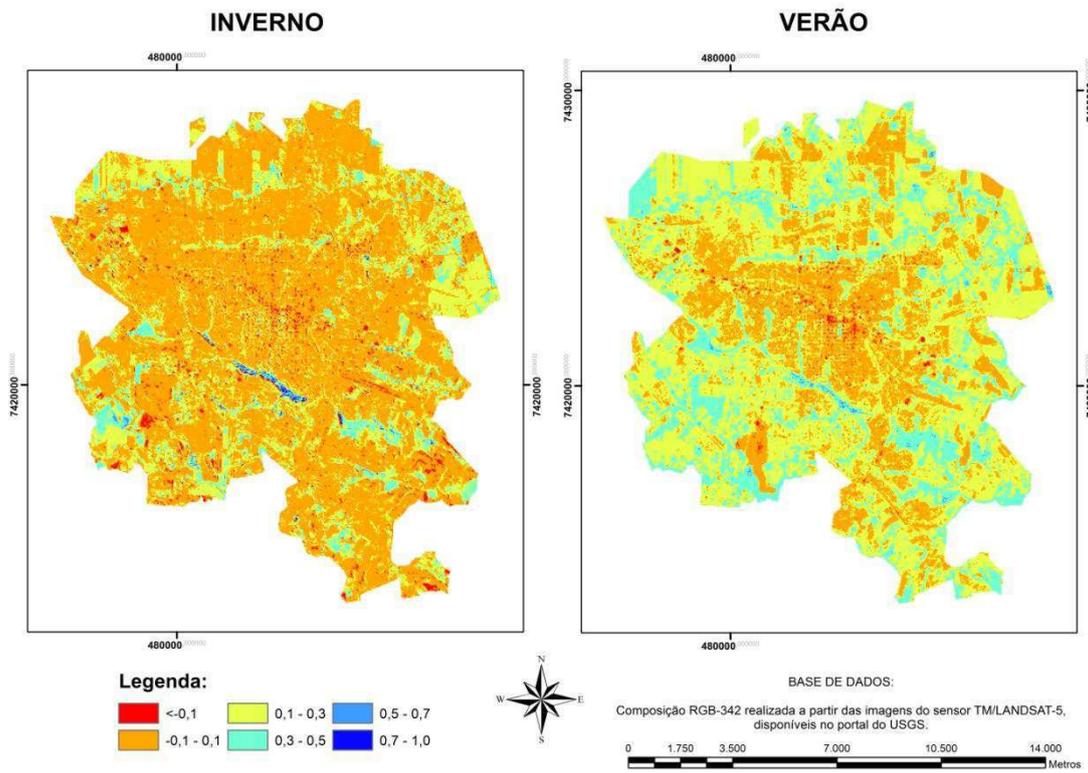
**Figura 21:** Distribuição espacial do NDVI no município de Londrina em 2007.

Nota-se que com o passar dos anos o NDVI na região de área urbana de Londrina, sobretudo no inverno, fica cada vez menor, apresentando uma grande quantidade de valores entre 0,1 a 0,4, indicativo de grande presença de construções e consequentemente redução na cobertura vegetal.

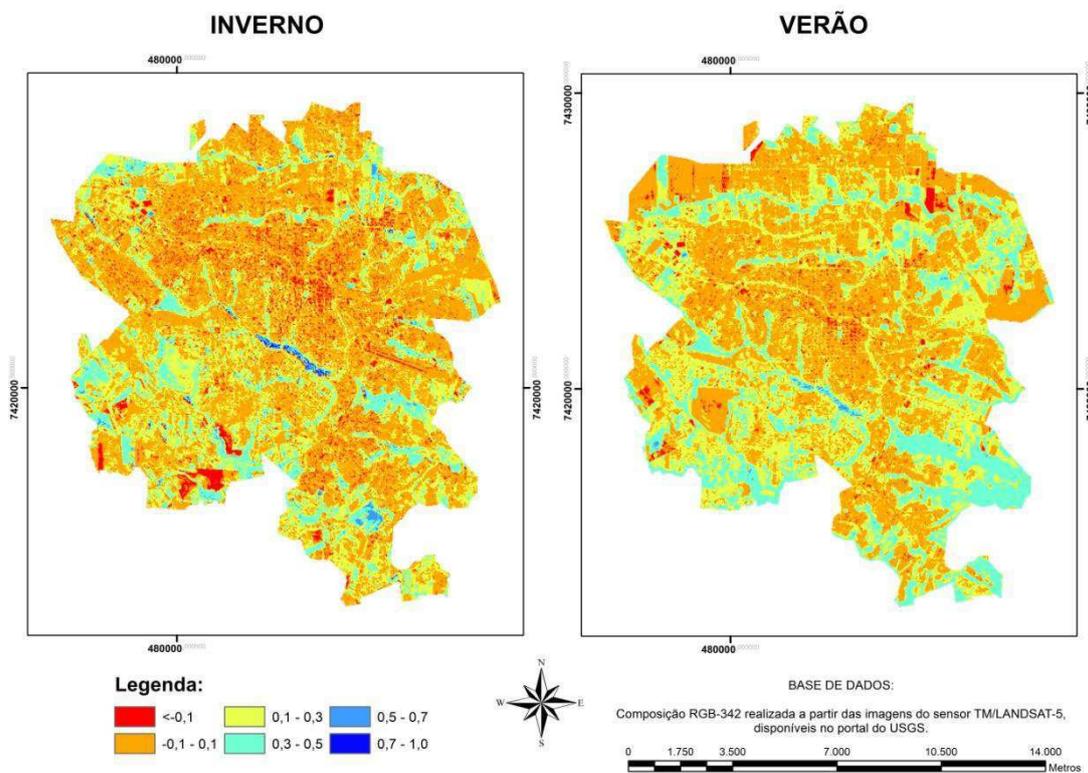
As Figuras 22, 23 e 24 demonstram a espacialização do NDWI nos períodos de inverno e verão para o município de Londrina nos anos de 1985/86, 1995/96 e 2007. Os maiores valores apresentados estão nas classes de água e vegetação e consequentemente os menores valores se concentram nas classes de área urbana e vegetação rala + solo exposto.



**Figura 22:** Distribuição espacial do NDWI no município de Londrina em 1985/86.



**Figura 23:** Distribuição espacial do NDWI no município de Londrina em 1995/96.



**Figura 24:** Distribuição espacial do NDWI no município de Londrina em 2007.

É possível verificar que no inverno dos anos de 1995/96 e 2007 os valores de NDWI foram menores quando comparados com o verão, isto se deve ao fato que as maiores precipitações em Londrina ocorrem nos meses mais quentes, ocasionando assim uma redução do NDWI no período mais frio. Nesse caso para analisarmos satisfatoriamente as ICU, utilizamos como base as imagens do período menos chuvoso (inverno).

As áreas que possuem um NDWI maior são as classes de água e vegetação densa, apresentando valores maiores de 0,4. Nota-se que nos anos de 1995/96 e 2007 os níveis de NDWI são consideravelmente baixos principalmente na área urbana, variando na grande maioria entre -0,1 e 0,2. Outra consideração importante é que os níveis de NDWI na área urbana pouco variam desde 1985 a 2007, evidenciando a presença de ICU nessa região.

As Figuras 25, 26 e 27 demonstram a espacialização do NDBI nos períodos de inverno e verão para o município de Londrina nos anos de 1985/86, 1995/96 e 2007. Esse índice caracterizou-se bem para a área urbana, apresentando valores maiores nesta classe, seguidos por vegetação rala + solo exposto, já os menores valores se concentram nas classes de água, vegetação densa e vegetação.

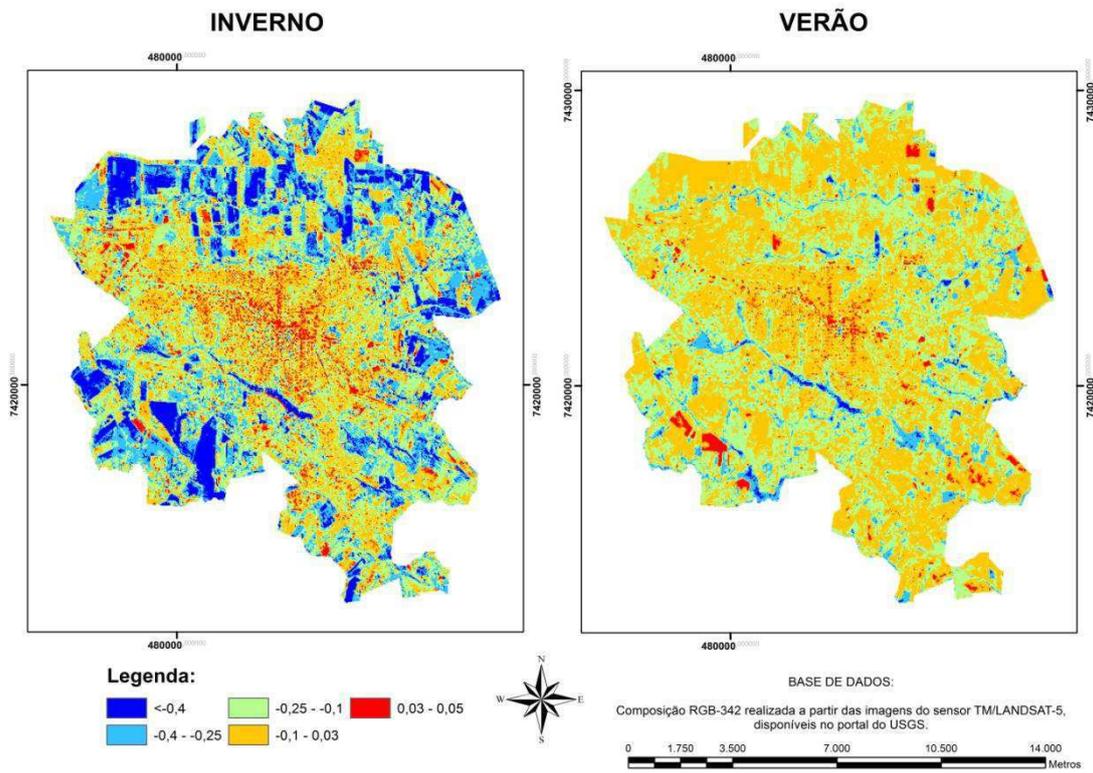


Figura 25: Distribuição espacial do NDBI no município de Londrina em 1985/86.

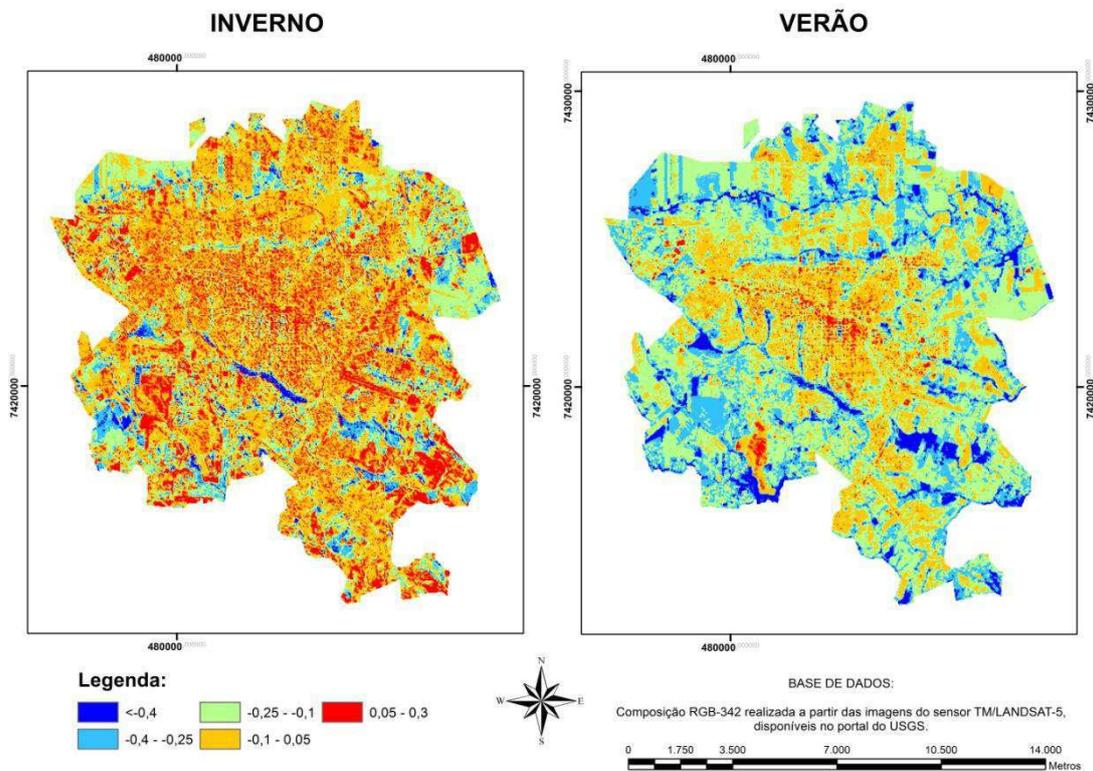
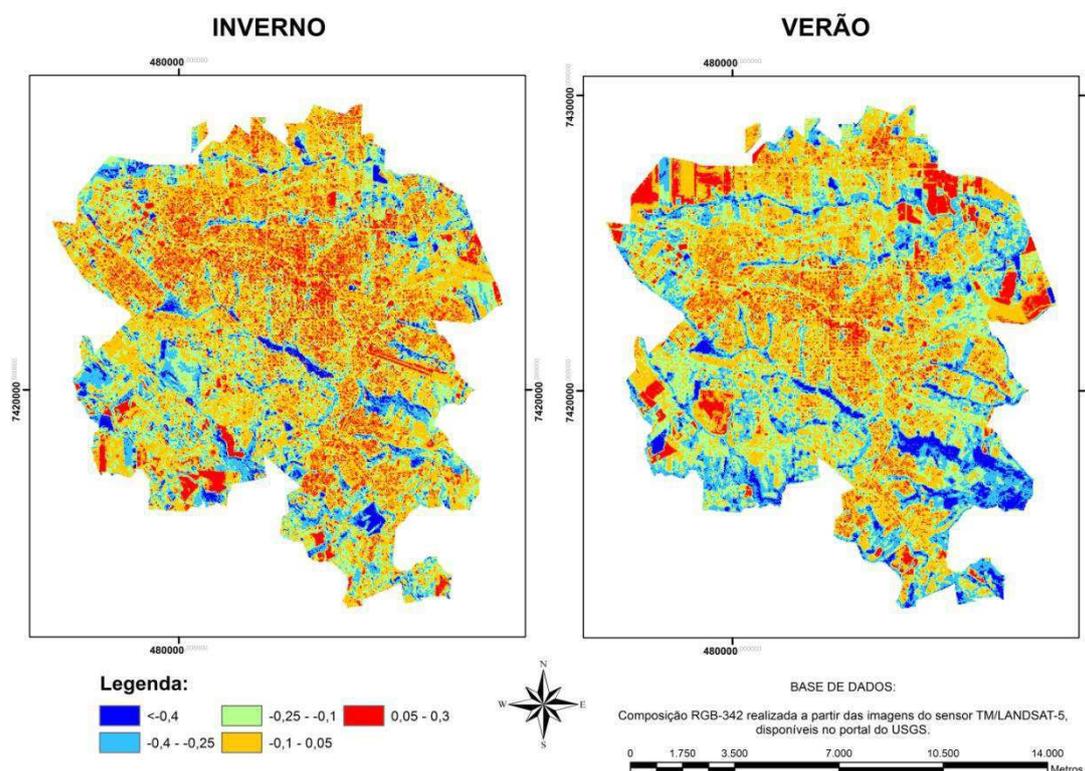


Figura 26: Distribuição espacial do NDBI no município de Londrina em 1995/96.

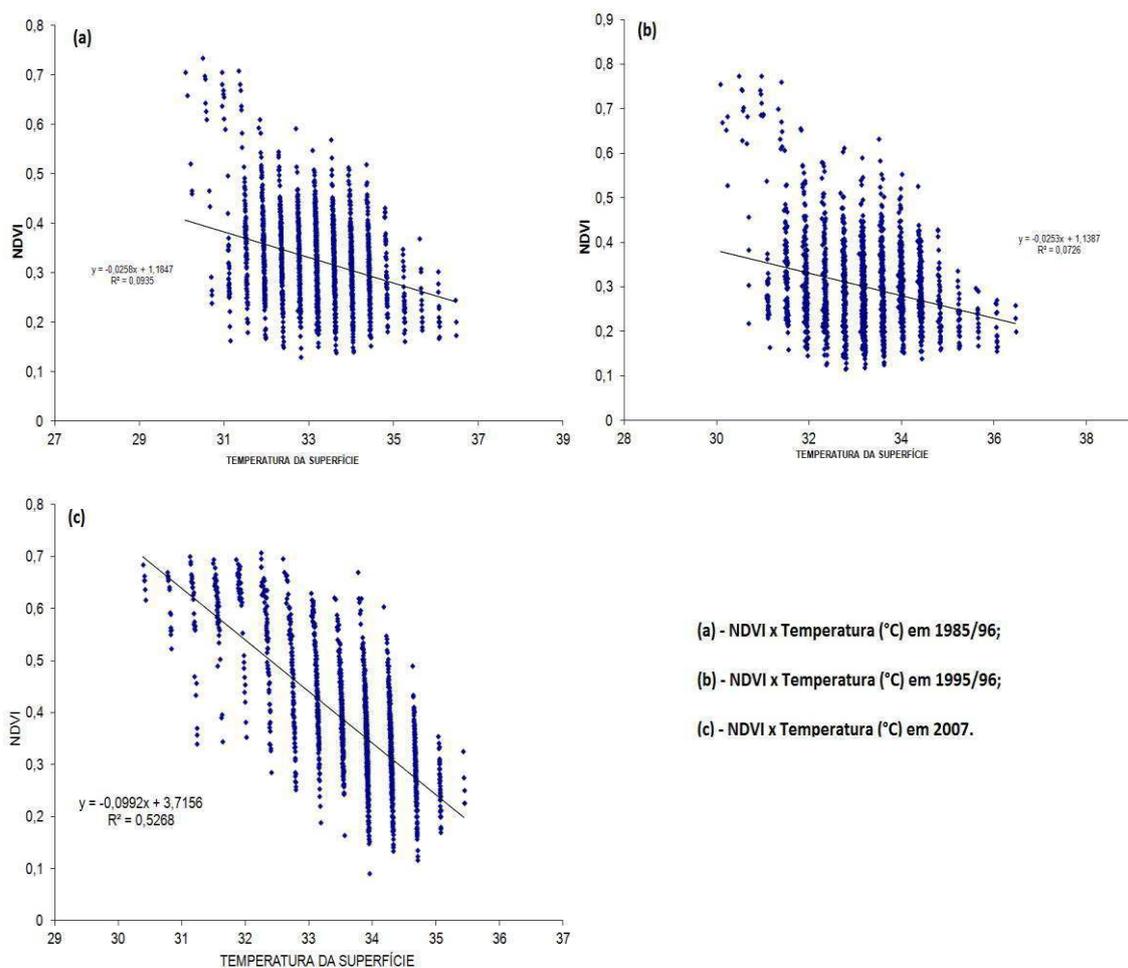


**Figura 27:** Distribuição espacial do NDBI no município de Londrina em 2007.

Os valores obtidos de NDBI foram mais expressivos no período de inverno, fato que se deve ao verão ser a época mais chuvosa da região, indicando que as áreas que permaneceram com valores de pixels elevados no verão são necessariamente aquelas onde existe maior quantidade de edificações. Como esperado, este índice apontou alguns valores entre -0,1 a 0,05 em 1985/86, aumentando a quantidade de pixels com esses valores consideravelmente com o passar dos anos. Em 2007 com uma população aproximadamente de 500.000 habitantes, a zona urbana de Londrina apresentou vários pixels com valores superiores a 0,3, fato que indica um índice muito elevado de área construída na região.

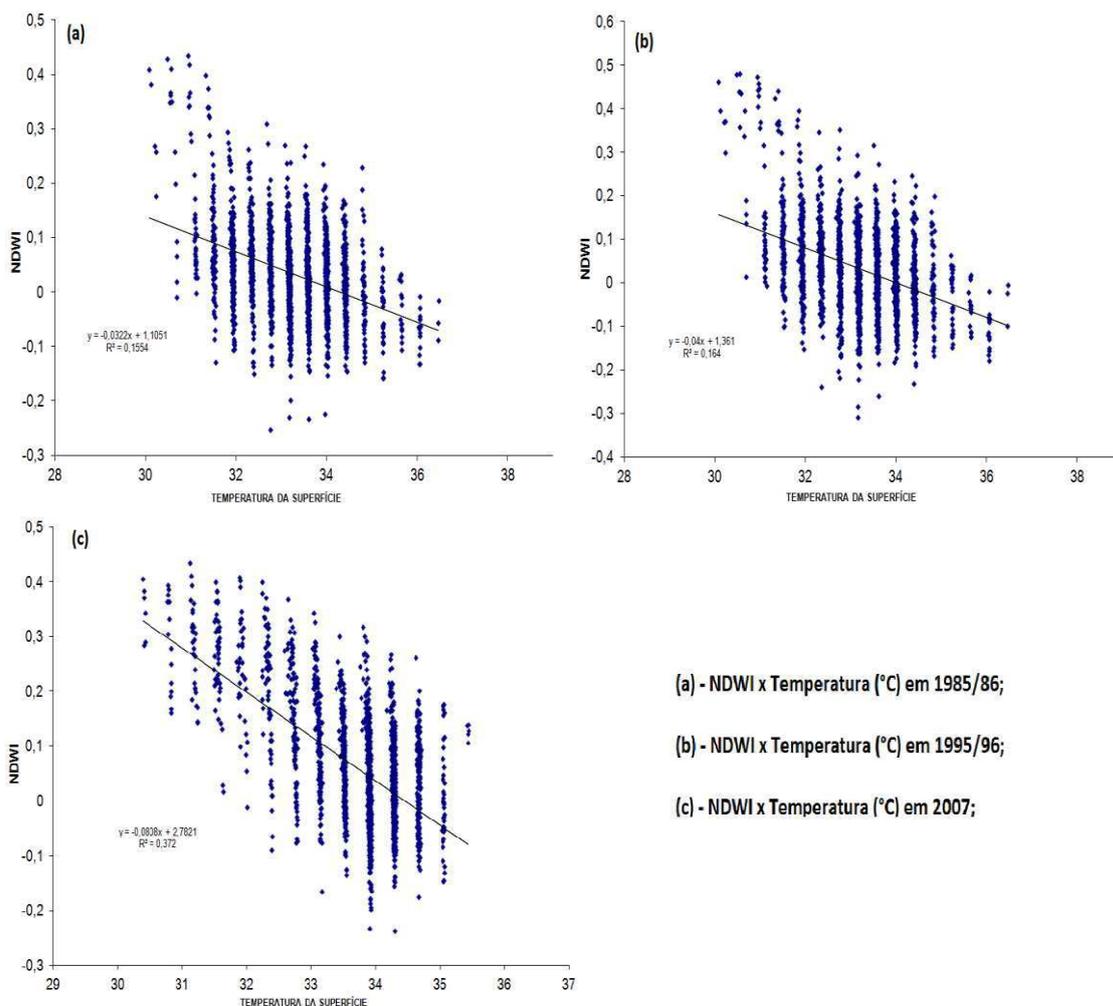
No presente trabalho, foram gerados diagramas de dispersão (Figuras 28, 29 e 30) para identificar as relações entre NDVI, NDWI, NDBI e temperatura. Os diagramas foram gerados utilizando esses índices e dos dados de temperatura da superfície extraídos das imagens de satélite, pixel a pixel.

Com base nos diagramas apresentados na Figura 28, observa-se que os valores de NDVI são mais altos nas áreas onde se concentram as menores temperaturas e mais baixos em áreas com temperaturas mais elevadas, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o valor de NDVI. Ressalta-se que este tipo de configuração é próprio de regiões tropicais e subtropicais, como é o exemplo de Londrina, que se encontra nos subtropicais da América do Sul, já em regiões frias o contrário é observado. O diagrama para o ano de 2007 (Figura 28 (c)) ilustra bem essa situação, indicando valores acima de 0,6 nas menores temperaturas (áreas vegetadas e corpos hídricos) e valores próximos a 0,1 nas maiores temperaturas (área urbana e solo exposto). Nos anos de 1985/86 e 1995/96 os valores de NDVI estão concentrados principalmente entre 0,2 a 0,4, com temperaturas variando de 31°C a 36°C.



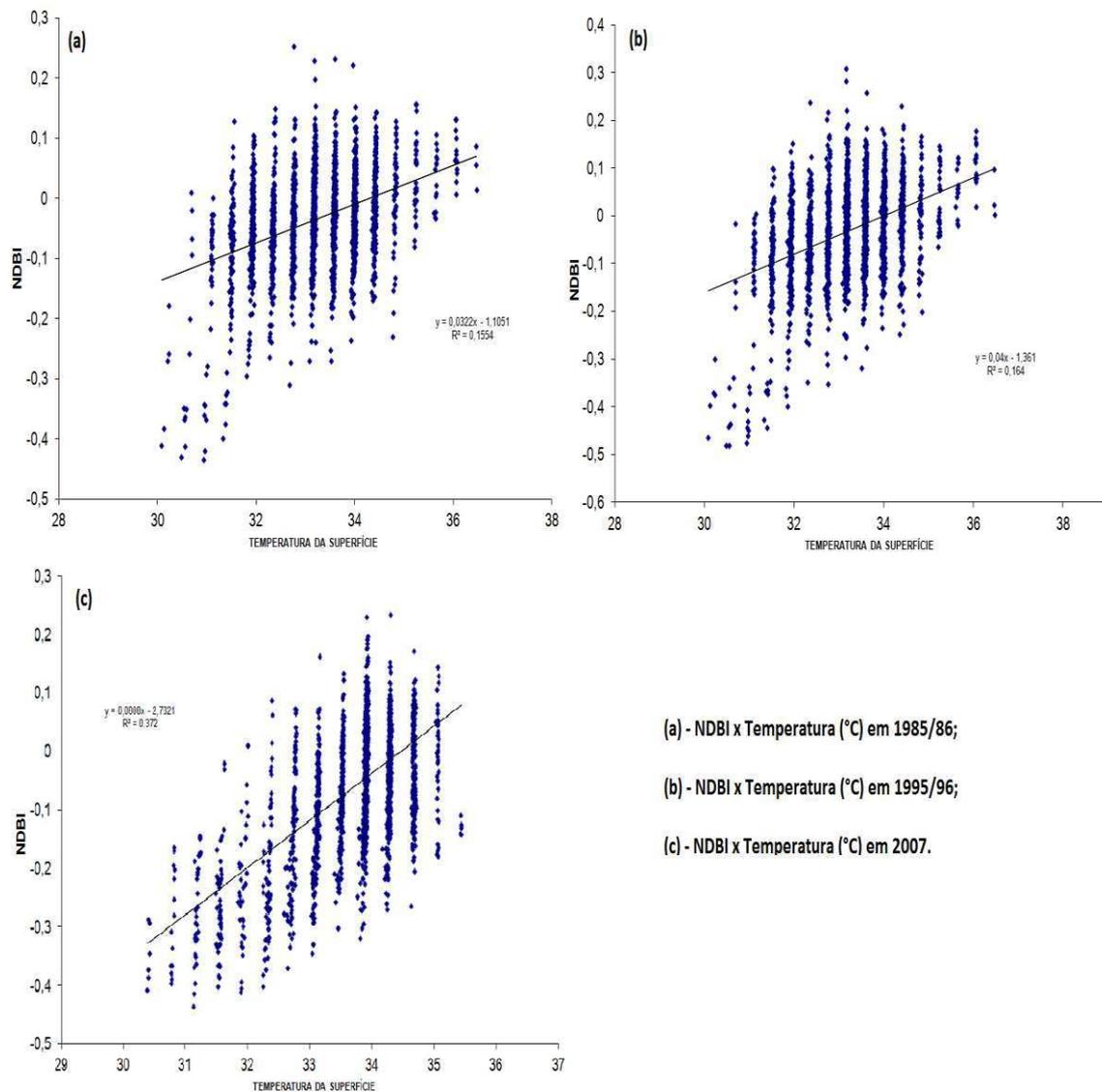
**Figura 28:** Relações entre temperatura, em °C, e valores médios de NDVI. (a) 1985/86, (b) 1995/96 e (c) 2007.

O diagrama do NDWI (Figura 29) indicou características semelhantes ao do NDVI, à medida que cresce a área urbana e solo exposto, e diminui a vegetação e a água, constata-se o aumento da temperatura e redução do NDWI. A maioria dos valores está entre -0,1 e 0,1, indicando muitas vezes a inexistência de água nesses pontos.



**Figura 29:** Relações entre temperatura, em °C, e valores médios de NDWI. (a) 1985/86, (b) 1995/96 e (c) 2007.

O diagrama do NDBI (Figura 30) apresentou uma dinâmica diferente em relação aos de NDVI e NDWI, indicando o aumento do NDBI à medida que a temperatura cresce. O diagrama apresentou, sobretudo em 2007 (Figura 29 (c)), uma linha reta ascendente, indicando um crescimento da malha urbana e conseqüentemente a redução de cobertura vegetal.



**Figura 30:** Relações entre temperatura, em °C, e valores médios de NDBI. (a) 1985/86, (b) 1995/96 e (c) 2007.

Os resultados evidenciam que o uso e ocupação do solo influenciam diretamente na formação de ICU, podendo ser explicado pelas propriedades radiativas da cobertura do solo. O asfalto e os telhados possuem uma capacidade maior de absorção de energia. Mesmo após o anoitecer esses materiais continuam emitindo radiação de onda longa para o ar adjacente, a qual pode ser absorvida e reemitida por outros elementos urbanos e, desta forma, aumentar a temperatura do ar noturno.

## 6 – CONCLUSÕES

Conclui-se que os resultados apresentados nesse trabalho podem ser utilizados para a identificação de áreas propensas à formação de Ilhas de Calor Urbana – ICU na cidade de Londrina/PR, devendo levar em consideração que as imagens de satélite utilizadas são de média resolução, fato que pode gerar limitações em alguns casos.

Os resultados indicam uma expansão territorial da malha urbana no período entre 1985 a 2007, ocasionando a diminuição das áreas verdes em todo o município. Outro fator importante é o aumento excessivo da temperatura dentro da cidade, ocasionando problemas de conforto térmico e possivelmente de saúde para habitantes dessas regiões. Essa situação é confirmada quando, por exemplo, observamos que a diferença de temperatura entre a área urbana e a água que foi de 6,8 °C no ano de 1985 e 7,9 °C no ano de 2007. A intensidade das ICU pode ser influenciada por muitos fatores e que pode nem sempre apresentar uma tendência linear com a expansão da área urbana.

Foi identificada uma expansão territorial de 17,15% da classe área urbana de Londrina, já as classes vegetação densa e vegetação rala + solo exposto sofreram um decréscimo de 5,89% e 22,5% respectivamente, sendo praticamente tomadas pela malha urbana, fato bastante relacionado com o aumento da população.

Para identificação das áreas propensas a formação de ICU, a utilização de imagens de diferentes estações (inverno e verão) apresentou resultados satisfatórios, visto que alguns índices se apresentam melhor no período com precipitação baixa e outros se apresentam melhor no período chuvoso.

Os resultados das análises quantitativas de temperatura e dos índices NDVI, NDWI e NDBI, foram semelhantes aos encontrados por Rafael (2014), em que permitiu identificar alterações ambientais e no microclima local, indicando que a mudança no

uso e ocupação do solo contribuiu para o aquecimento, principalmente através dos processos de expansão urbana.

As ICU foram identificadas em áreas densamente ocupadas, com grande quantidade de edificações e concreto, com baixa taxa de umidade e vegetação, apresentando temperaturas mais elevadas quando comparadas a outros tipos de cobertura do solo.

## 7- REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) - Advanced Training and Users Manual - Idaho Implementation**, version 1.0, 2002.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C.; ALCÂNTARA, C. R.; SOUSA, L. F.; OLIVEIRA, G. B. Estimativa do saldo de radiação à superfície em área de cerrado amazônico utilizando imagem Landsat 5 – TM. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril, p.1712-1718, 2013.

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. Academic Press. 420 p. 2001

BAPTISTA, G.M.M. Estudo Multitemporal do fenômeno Ilhas de Calor no Distrito Federal. **Revista Meio Ambiente**, nº. 02, p. 03-17, 2002.

BAPTISTA, G.M.M. Aula Aberta Ano I. **Revista Scientific American Brasil**, nº 2. p. 24 – 38, 2010

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. **CIP Data Koninklijke Bibliotheek**, the Netherlands.1995, 272p.

BASTIAANSEN WGM, NOORDMAN EJM, PELGRUM H, DAVIDS G, THORESON BP, ALLEN. SEBAL Model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, p. 85 – 93, 2005.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando - se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 3, p. 305 - 317, 2008.

BISHT, G. ; R.L. BRAS. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions - Southern Great Plains case study, **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p.1522-1534, 2010.

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br/>>

CABRAL, E. Análise das Alterações Climáticas da Cidade de São Paulo (1887 - 1995) no Contexto da Expansão de sua Mancha Urbana. **Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – USP**. p. 278, 1997

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. **Princípios Básicos em Geoprocessamento. Sistemas de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura, 2ª Edição - Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, p. 434, 1988.

CANTAT O. **Ilhas de calor urbana parisiense em diferentes tipos de tempo**, p.75-102, 2004.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. **Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and post-calibration dynamic ranges**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.41, p.2674–2677, 2003.

CHEN YUNHAO; WANG JIE; LI XIAOBIN. A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. **Remote Sensing for Land and Resources**, v.4, p. 55–59, 2002.

CHEN, X. L.; ZHAO, H. M.; LI, P., X.; YIN, Z. Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, v.104, p.133-146, 2006.

CRÓSTA. Á. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed. rev. Campinas – SP: IG/UNICAMP, p.170, 1992.

EIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

EUA. **Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS**. Disponível em < [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)>.

FOERSTNOW, L. P.; MENEZES, J. T. Aplicabilidade de imagens de satélite utilizando NDWI na determinação da batimetria da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR)**, p. 4397-4404, 2011.

FOLHES, M. T. Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos. **Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto)**. INPE, São José dos Campos, 2007.

FREITAS, E. D., DIAS, P. L. S. **Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor**, Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.3, p.355-366, 2005.

FREIRE, N. C.F, PACHECO, A. P. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005.

FRENCH, A. N.; JACOB, F.; ANDERSON, M. C.; KUSTAS, W. P.; TIMMERMANS, W.; GIESKE, A.; SU, Z.; McCABE, M. F.; LI, F.; PRUEGER, N.; BRUNSELL, N. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal

Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA).

**Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 55 - 65, 2005.

GAO, BO-CAI. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n.3 p. 257–266, 1996.

GARCÍA, M. C. M. **Climatologia Urbana**. Edicions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 1999.

GOMES, A. R. Projeção de crescimento urbano utilizando imagens de satélite. **Monografia (Trabalho de Formatura em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista**, Rio Claro, p.89, 1995.

GOMES, M. V. M. **Resiliência Ambiental do Município de Pedra Branca – PB Visando a Sustentabilidade Local**. – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, IFPB, 2012.

GOMES, L. C. F. **Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande–PB, p.70, 2011.

HEMAKUMARA, H. M.; CHANDRAPALA, L.; MOENE, A. F. Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer. **Agriculture Water Management**, v. 58, p. 109 – 112, 2003.

HUETE, A.R.A Soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, n.3, p.295-309, 1988.

JACKSON, T. J., CHEN, D., COSH, M., LI, F., ANDERSON, M., WALTHALL, C., et al. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference

water index for corn and soy beans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92,p. 475–482, 2004.

JACOB, F., OLIOSO, A., GU, X. F., SU, Z., & SEGUIN, B. **Mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model**. *Agronomie*, v. 22, p.669 – 680, 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. John R. Jensen; tradução: José Carlos Neves Epiphanyo, *et al.* São José dos Campos - SP: Parêntese, 2009.

JI, R.; XIE, B. Y.; LI, D. M.; LI, Z.; ZHANG, X. Use of MODIS data to monitor the oriental migratory locust plague. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.104, p.615-620, 2004.

KAZMIERCZAK, M. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Salvador, INPE. p. 513 – 518, 1996.

KLEIN, S. A. Calculation of Monthly Average Insolation on titled surfaces. **Solar Energy**, v. 9, p.325 - 329, 1977.

LANDSBERG, H.E. **The Urban Climate**. New York, Academic Press, 1981.

LOMBARDO, M.A. **The Heat Urban Island of Paulistan Metropolis**. Instituto de Geografia – USP, 1984.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba, Clichês.p.350, 1968.

MAKI, M., ISHIAHRA, M., & TAMURA, M. Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 441–450, 2004.

MENDONÇA, J. C. **Estimação da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense, RJ.** Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campo dos Goytacazes, RJ. 2007.

MOLION, L.C.B. Aquecimento Global: fato ou ficção. **Ação e Ambiental**, v. 4, nº. 18, p. 19-21, 2001.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano.** São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, v.25, p. 181, 1976.

MORAES, N. O. ; PIMENTEL, L. C. G. ; MARTON, E. . Simulações Numéricas da Formação de Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ**, v. 28 2, p. 116-138, 2005.

MOREIRA, M.A.; SHIMABUKURO, Y.E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N.** São Paulo, Oficina de Textos, 2004, cap.4: 79-101

MOREIRA, E.B.M. Distribuição Espacial das Temperaturas à Superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM Landsat – 7. **Revista de Geografia UFPE/DCE**, v.24, n 3, p. 122-135, 2007.

MORSE, A., ALLEN, R. G., TASUMI, M., KRAMBER, W. J., TREZZA, R. WRIGHT, J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Evapotranspiration and Consumptive Use of Water Through Remote Sensing.** Final Report, p.220, 2001.

MOURA, R; KLEINKE, M. L. U. Espacialidades de Concentração na rede Urbana da Região Sul. **Revista Paranaense de Desenvolvimento.** v.1, n.95, p.3-26, 1999.

NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco.** p.337.Tese

(Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Combra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ, 2008, 337p.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2 ed. London: Methuen, 435 p., 1987.

OLIVEIRA, D.O. e ALVALÁ, R.C.S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorological Applications**. v.200, 3 ago. 2012.

PACHÊCO, A. P.; RIBAS, N. S. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Uso da Terra. **Geodésica online**, v. 4, n. 1, p. 34-48, 1998.

PONZONI, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação**. Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

RAFAEL, R. A. **Relação entre ilhas de calor urbano e mudanças no uso da terra baseada em sensoriamento remoto orbital: um estudo de caso para Manaus – AM**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação EM Meteorologia – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2014.

RICHARDS, J. A. (1993). **Análise de Imagem Sensoriamento Remoto Digital**. Springer, Heidelberg, Nova Iorque, 1993.

RIZWAN, A.M., LEUNG, D.Y.C., & LIU, C. **A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island**. Journal of Environment Science, v.20, p. 120-128, 2008.

SANTOS, C. A. C.; SILVA, B. B. Estimativa da evapotranspiração da bananeira em região semi-árida através do algoritmo S-SEBI. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, p.9-20, 2008.

SCHOWENGERDT, Robert A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. New York: Academic Press, 1983.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C.; Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, p. 174 - 186, 2006.

SINGH, D.; MEIRELLES, M. S. P.; COSTA, G. A.; HERLIN, I.; BERROIR, J. P.; SILVA, E. F. Environmental degradation analysis using NOAA/AVHRR data. **Advances in Space Research**, v.37, p.720-727, 2006.

SOUZA, A. L.; F. MASSSAMBANI, O. Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana de São Paulo. **CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, SBMET, p. 565- 584, Fortaleza/CE, 2004.

SULSOFT. **Guia do ENVI em Português**. Disponível em: [www.envi.com.br](http://www.envi.com.br).

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. - surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of Land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.13, p.513 - 63, 2008.

TEZA, C.T.V. BAPTISTA, G.M. DE M. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras**. Anais XII SBSR, Goiânia, Brasil, p. 3911-3918, 2005.

VOOGT, J. A. Urban Heat Island, Causes and consequences of global environmental change, **Encyclopedia of Global Environmental Change**, vol.3, p.660-666, 2002.

WELIGEPOLAGE, K. Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration bay satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek, The Netherlands, p.114, 2005.

ZARCO-TEJADA, P. J., RUEDA, C. A., USTIN, S. L. Water content estimation in vegetation with MODIS reflectance data and model inversion methods. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 109–124, 2003.

ZHA, Y., GAO, J., NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 583–594, 2003.

ZWART, SANDER J., AND WIM G.M. BASTIAANSEN. SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. **Agricultural Water**, p.287-296, 2007.