



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

GABRIELA DE SOUZA ESTEVÃO

**SENSORIAMENTO REMOTO COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS ILHAS DE
CALOR DE SUPERFÍCIE EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ**

FORTALEZA

2016

GABRIELA DE SOUZA ESTEVÃO

SENSORIAMENTO REMOTO COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS ILHAS DE
CALOR DE SUPERFÍCIE EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Geografia. Área de Concentração: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Elisa Zanella

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- E84s Estevão, Gabriela de Souza.
Sensoriamento remoto como contribuição ao estudo das ilhas de calor de superfície em Juazeiro do Norte, Ceará / Gabriela de Souza Estevão. – 2016.
144 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2016.
Orientação: Profª. Dra. Maria Elisa Zanella.
1. Núcleos de Calor. 2. Temperatura de Superfície. 3. Geoprocessamento. I. Título.

CDD 910

GABRIELA DE SOUZA ESTEVÃO

SENSORIAMENTO REMOTO COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS ILHAS DE
CALOR DE SUPERFÍCIE EM JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada ao do
Programa de Pós-graduação em Geografia, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
para a obtenção do Título de Mestre em
Geografia, Área de concentração Natureza,
Campo e Cidade no Semiárido.

Aprovada em 11/07/2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^ª Dr.^a Maria Elisa Zanella (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Jader de Oliveira Santos (Membro Interno)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Moura (Membro Externo)
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

Ao Juazeiro e aos juazeirenses.

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo a Deus, por me conceder a vida.

A toda minha família, por todo o amor para comigo, sobretudo a minha mãe, Valdelani que me ensinou valores morais, aos quais carrego sempre comigo, juntamente com meus irmãos, Caroline e Lucas.

Agradeço especialmente a Filipe, meu companheiro e amigo, que esteve e está sempre ao meu lado me apoiando e auxiliando nas decisões tomadas.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, notadamente ao seu excepcional corpo docente e administrativo, bem como a Fundação Cearense de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico, pelo financiamento desta pesquisa.

Sou muitíssimo grata a minha orientadora, professora Dr^a. Elisa Zanella, por me receber tão bem com seu jeito doce no Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos, auxiliando-me assiduamente no desenvolvimento desta investigação.

Agradeço aos professores Dr. Jader Oliveira, Dr. Gledson Magalhães e Dr. Marcelo Moura por comporem a banca de qualificação e banca de defesa, delineando contribuições que colaboraram para a conclusão desta pesquisa.

Aos professores da Universidade Regional do Cariri (URCA), em especial as professoras Lourdes e Juliana por instigar e apoiar lindamente a construção do conhecimento científico nesta instituição de ensino, bem como aos amigos Ítalo, Micka, Bruna, Fátima e Kelvi, no qual convivi e tenho um carinho imenso.

A todos os amigos que fiz no Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH), Nair, Marysol, Sullivan, Júnior, Juliana, por dividir risadas e angústias nessa curta jornada.

Aos meus amigos do Juazeiro que apesar da distância, estão sempre no meu pensamento.

E aos demais familiares, amigos, e pessoas que conheci e convivi, e que me auxiliaram, na realização deste trabalho.

Tudo aquilo que o homem ignora, não existe pra ele. Por isso o universo de cada um, se resume no tamanho de seu saber.”

Albert Einstein

RESUMO

A cidade pode ser compreendida como a materialização das atividades humanas, e quando esta passa a repercutir a ponto de influenciar a atmosfera local, produz um novo balanço de energia que traz modificações térmicas no ambiente urbano. Estas modificações na grande maioria das vezes são tratadas como um problema, por causar inconvenientes de caráter coletivo ou individual. Com base nisto, esta investigação propõe contribuir com o estudo das Ilhas de Calor de Superfície, na medida em que se preocupa em analisar as oscilações térmicas no município de Juazeiro do Norte, situado no estado do Ceará. Este estudo desenvolveu-se alicerçado na proposta teórica do Sistema Clima Urbano e buscou identificar e compreender o comportamento deste fenômeno por meio das técnicas inseridas no geoprocessamento, dentre as quais, sobressai o sensoriamento remoto e seus produtos, especialmente as imagens do satélite Landsat sensores TM e TIRS. Selecionou-se e analisou-se os anos 1986, 1996 e 2010. A seleção dos anos baseou-se na disponibilidade de imagens com ausência de nuvens, sendo analisados nos respectivos períodos chuvosos (fevereiro a maio) e secos (segundo semestre do ano), dando importância à influência da vegetação, a partir da análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), bem como a influência dos materiais construtivos através da disposição dos diferentes tipos de ocupação do solo. Com a intersecção destas informações, delineou-se a distribuição dos núcleos de calor representados pela temperatura de superfície, averiguando a sua disposição, o seu comportamento temporal e espacial sob influência da sazonalidade e sua evolução nos anos estudados (1986, 1996 e 2010). Dentre os resultados obtidos, dar-se evidência ao comportamento do núcleo de calor, que no período chuvoso comporta-se como um núcleo de calor de maior densidade concentrada no perímetro urbano e no período seco este núcleo desmembra-se em outros núcleos de menor extensão e igualmente quentes, espalhando-se principalmente nos setores sudoeste, sul e sudeste do município. As temperaturas de superfície mais elevadas foram encontradas, sobretudo no perímetro urbano, onde detém alta concentração de material construído e as de menor valor foram encontradas nos recortes relacionados às superfícies mais naturais, como as franjas urbanas, as áreas de distribuição das drenagens que cortam o município, as áreas com maior densidade de vegetação e as áreas mais elevadas do relevo, como a colina do Horto. Os resultados alcançados com a pesquisa exprime um relato científico das reações de um sistema dinâmico face às modificações do ambiente urbano, motivando preocupação com a qualidade de vida da população.

Palavras-chave: Núcleos de calor. Temperatura de superfície. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The city can be understood as the materialization of human activities, and when this happens to affect the local atmosphere, produces a new balance of energy that brings about thermal changes in the urban environment. These modifications are most often treated as a problem, because they cause inconveniences of a collective or individual nature. Based on this, this research proposes to contribute to the study of the Surface Heat Islands, insofar as it is concerned with analyzing the thermal oscillations in the municipality of Juazeiro do Norte, located in the state of Ceará. This study was based on the theoretical proposal of the Urban Climate System and sought to identify and understand the behavior of this phenomenon through the techniques inserted in the geoprocessing, among which the remote sensing and its products, especially the images of the satellite Landsat sensors TM And TIRS. The selection of the years was based on the availability of images with absence of clouds, being analyzed in the respective rainy periods (February to May) and dry (second half of the year), Giving importance to the influence of the vegetation, from the analysis of the Index of Vegetation by Normalized Difference (NDVI), as well as the influence of the constructive materials through the arrangement of the different types of land occupation. With the intersection of this information, the distribution of the heat cores represented by the surface temperature, determining its disposition, its temporal and spatial behavior under the influence of seasonality and its evolution in the years studied (1986, 1996 and 2010) was delineated. Among the obtained results, the heat core behavior, which in the rainy season behaves like a heat core of greater density concentrated in the urban perimeter and in the dry period, this nucleus is dismembered in other smaller nuclei And equally hot, spreading mainly in the southwest, south and southeast sectors of the municipality. The highest surface temperatures were found, especially in the urban perimeter, where it has a high concentration of constructed material and the lowest values were found in the cuts related to the more natural surfaces, such as the urban fringes, the drainage distribution areas that cut, the areas with the highest vegetation density and the highest relief areas, such as Horto hill. The results obtained with the research expresses a scientific report of the reactions of a dynamic system to the modifications of the urban environment, motivating concern with the quality of life of the population.

Keywords: Nuclei of heat. Surface temperature. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do balanço de radiação solar médio.....	28
Figura 2 – Balanço de radiação de uma cidade.....	28
Figura 3 – Variação diária da temperatura do ar (°C) sob grupamento por espécies vegetais com porte diferenciados.....	30
Figura 4 – Temperatura de superfície de uma cobertura tradicional	32
Figura 5 – Diferença de temperatura de superfície em telhas frescas e tradicionais.....	33
Figura 6 – Temperatura de superfície dos pavimentos.....	34
Figura 7 – Ilha de Calor de Superfície – I.C.S.....	37
Figura 8 – Subsistema Termodinâmico do S.C.U.....	41
Figura 9 – Temperatura aparente diária de algumas superfícies.....	47
Figura 10 – a) Interação da luz visível e infravermelho próximo com vegetação sadia e estressada; b) interação da luz visível e infravermelho próximo com a folha morta, estressada e sadia.....	50
Figura 11 – Fluxograma básico.....	55
Figura 12 – Localização dos postos pluviométricos.....	63
Figura 13 – Localização do sítio Joaseiro em 1827.....	74
Figura 14 - Dimensão espacial de Juazeiro em 1875.....	75
Figura 15 – Núcleo urbano de Juazeiro.....	77

LISTA DE MAPAS

Mapa 1	– Localização de Juazeiro do Norte.....	23
Mapa 2	– Mapa Litológico de Juazeiro do Norte.....	67
Mapa 3	– Mapa de Geomorfologia de Juazeiro do Norte.....	69
Mapa 4	– Fitoecologia de Juazeiro do Norte.....	71
Mapa 5	– Temperatura de Superfície do Período Chuvoso de 1986.....	86
Mapa 6	– Temperatura de Superfície do Período Seco de 1986.....	87
Mapa 7	– Temperatura de Superfície do Período Chuvoso de 1996.....	91
Mapa 8	– Temperatura de Superfície do Período Seco de 1996.....	92
Mapa 9	– Temperatura de Superfície do Período Chuvoso de 2010.....	95
Mapa 10	– Temperatura de Superfície do Período Seco de 2010.....	96
Mapa 11	– NDVI do período chuvoso de 1986.....	117
Mapa 12	– NDVI do período seco de 1986.....	118
Mapa 13	– NDVI do período chuvoso de 1996.....	119
Mapa 14	– NDVI do período seco de 1996.....	120
Mapa 15	– NDVI do período chuvoso de 2010.....	121
Mapa 16	– NDVI do período seco de 2010.....	122
Mapa 17	– Mapa de uso de Juazeiro do Norte em 1986.....	126
Mapa 18	– Mapa de uso de Juazeiro do Norte em 1996.....	127
Mapa 19	– Mapa de uso de Juazeiro do Norte em 2010.....	128
Mapa 20	– Mapa de detalhe da temperatura de superfície terrestre no período chuvoso de 2010.....	131
Mapa 21	– Mapa de detalhe da temperatura de superfície terrestre no período seco de 2010.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Variação da temperatura sob vegetação nas estações dos anos.....	31
Quadro 2	– Influência da vegetação na temperatura.....	31
Quadro 3	– Diferença entre o asfalto e o concreto.....	34
Quadro 4	– Enunciados básicos do S.C.U.....	39
Quadro 5	– Equação da Lei de Planck.....	43
Quadro 6	– Característica do satélite Landsat 5 e seus sensores.....	45
Quadro 7	– Alguns exemplos de índices de vegetação.....	48
Quadro 8	– Equação NDVI.....	49
Quadro 9	– Caracterização das imagens de satélite utilizadas	57
Quadro 10	– Fórmula NDVI.....	58
Quadro 11	– Exposição da tipologia climática através da técnica de Box plot numa série (1981-2010)	62
Quadro 12	– Litologias presentes em Juazeiro do Norte.....	66
Quadro 13	– Regiões fitoecológicas.....	70
Quadro 14	– Evolução populacional de Juazeiro do Norte.....	79
Quadro 15	– PIB de Juazeiro no ano de 2014.....	80
Quadro 16	– Quadro industrial de Juazeiro do Norte.....	80
Quadro 17	– Balanço dos estabelecimentos comerciais no ano de 2014.....	81
Quadro 18	– Distribuição de empregos formais no município de Juazeiro.....	81
Quadro 19	– Área da Temperatura de Superfície no período chuvoso de 1986.....	89
Quadro 20	– Área da Temperatura de Superfície no período seco de 1986.....	89
Quadro 21	– Área da Temperatura de Superfície no período chuvoso de 1996.....	93
Quadro 22	– Área da Temperatura de Superfície no período seco de 1996.....	94
Quadro 23	– Área da Temperatura de Superfície no período chuvoso de 2010.....	97

Quadro 24	– Área da Temperatura de Superfície no período seco de 2010.....	98
Quadro 25	– Temperaturas mínimas, médias e máximas do período chuvoso dos anos de 1986, 1996, 2010.....	103
Quadro 26	– Temperaturas mínimas, médias e máximas do período seco dos anos de 1986, 1996, 2010.....	103
Quadro 27	– Área dos intervalos de classe do NDVI 1986 (Período chuvoso)	109
Quadro 28	– Área dos intervalos de classe do NDVI 1986 (Período seco)	110
Quadro 29	– Área dos intervalos de classe do NDVI 1996 (Período chuvoso)	111
Quadro 30	– Área dos intervalos de classe do NDVI 1996 (Período seco)	112
Quadro 31	– Área dos intervalos de classe do NDVI 2010 (Período chuvoso)	113
Quadro 32	– Área dos intervalos de classe do NDVI 2010 (Período seco)	114
Quadro 33	– Área das classes do NDVI do período chuvoso para 1986, 1996 e 2010...	115
Quadro 34	– Área das classes do NDVI do período seco para 1986, 1996 e 2010.....	116
Quadro 35	– Distribuição das áreas em Km ² e % do mapeamento do uso de Juazeiro do Norte no ano de 1986.....	125
Quadro 36	– Distribuição das áreas em Km ² e % do mapeamento do uso de Juazeiro do Norte no ano de 1996.....	125
Quadro 37	– Distribuição das áreas em Km ² e % do mapeamento do uso de Juazeiro do Norte no ano de 2010.....	125

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Distribuição interquartil da série (1981-2010).....	63
Gráfico 2	– Distribuição Pluviométrica - Posto Vila São Gonçalo-Marrocos (2001 - 2009).....	64
Gráfico 3	– Representatividade percentual da média da quadra chuvosa – Posto Juazeiro do Norte (1981-2010).....	64
Gráfico 4	– Temperaturas Médias Mensais - Posto Juazeiro do Norte - (1981 - 2010).....	65
Gráfico 5	– Precipitações média mensais – Posto Juazeiro do Norte (1981-2010).....	65
Gráfico 6	– Temperatura e precipitação média mensais - Posto Juazeiro do Norte (1981-2010).....	66
Gráfico 7	– População de Juazeiro do Norte de 1940 a 2010.....	79
Gráfico 8	– Temperatura de Superfície do período chuvoso de 1986.....	88
Gráfico 9	– Temperatura de Superfície do período seco de 1986.....	88
Gráfico 10	– Temperatura de Superfície do período chuvoso de 1996.....	93
Gráfico 11	– Temperatura de Superfície do período seco de 1996.....	93
Gráfico 12	– Temperatura de Superfície do período chuvoso de 2010.....	97
Gráfico 13	– Temperatura de Superfície do período seco de 2010.....	97
Gráfico 14	– Evolução da classe de temperatura < 20 °C.....	98
Gráfico 15	– Evolução da classe de temperatura 22-23 °C.....	99
Gráfico 16	– Evolução da classe de temperatura 23-24 °C.....	100
Gráfico 17	– Evolução da classe de temperatura 25-26 °C.....	100
Gráfico 18	– Evolução da classe de temperatura > 30 °C.....	101
Gráfico 19	– Evolução das mínimas, médias e máximas do período chuvoso nos anos de 1886, 1996 e 2010.....	103
Gráfico 20	– Evolução das mínimas, médias e máximas do período seco nos anos de 1886, 1996 e 2010.....	104

Gráfico 21 – Comportamento da temperatura mínima nos anos de 1986, 1996 e 2010.....	104
Gráfico 22 – Comportamento da temperatura média nos anos de 1986, 1996 e 2010.....	105
Gráfico 23 – Comportamento da temperatura máxima nos anos de 1986, 1996 e 2010.....	106
Gráfico 24 – NDVI 1986 (Período chuvoso).....	108
Gráfico 25 – NDVI 1986 (Período seco).....	109
Gráfico 26 – NDVI 1996 (Período chuvoso).....	110
Gráfico 27 – NDVI 1996 (Período seco).....	111
Gráfico 28 – NDVI 2010 (Período chuvoso).....	112
Gráfico 29 – NDVI 2010 (Período seco).....	113
Gráfico 30 – Evolução da área dos intervalos de classe do NDVI do período chuvoso de 1986, 1996 e 2010.....	115
Gráfico 31 – Evolução da área dos intervalos de classe do NDVI do período seco de 1986, 1996 e 2010.....	116
Gráfico 32 – Distribuição em Km ² das classes de uso do solo de Juazeiro do Norte em 1986, 1996 e 2010.....	124
Gráfico 33 – Perfil longitudinal do período chuvoso de 2010.....	130
Gráfico 34 – Perfil longitudinal do período seco de 2010.....	132
Gráfico 35 – Comparação entre os perfis longitudinais do período chuvoso e seco de 2010.....	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
ETM	Enhanced Thematic Mapper Plus
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LI	Linhas de Instabilidade
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério de Meio Ambiente
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
OL	Ondas de Leste
S.C.U	Sistema Clima Urbanos
SEFAZ	Secretaria da Fazenda
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura do Ceará
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará
SR	Sensoriamento Remoto
SR	Scanning Radiometer
TIROS	Television Infrared Observation Satellite
TM	Thematic Mapper
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
UFC	Universidade Federal do Ceará
USGS	U.S. Geological Survey
UTM	Universal Transversa de Mercator

UV	Ultravioleta
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	O CLIMA URBANO NA PERSPECTIVA GEOGRÁFICA.....	24
2.1	A Climatologia e os estudos de Clima Urbano.....	24
2.2	Balanco de Radiação em Superfícies Urbanas e a influência da Cobertura Vegetal e dos tipos de materiais urbanos na temperatura de superfície.....	27
2.3	Ilhas de calor urbanas.....	35
2.4	O Sistema Clima Urbano-S.C.U.....	38
3	SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUPORTE AOS ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR URBANAS.....	42
3.1	Os princípios físicos que norteiam o emprego do Sensoriamento Remoto nos estudos de Ilhas de calor.....	42
3.2	Comportamento espectral dos alvos e a utilização do NDVI para o estudo das Temperaturas de Superfície terrestre-TST.....	46
3.3	Potencialidades e limitações referentes ao emprego do SR nos estudos de ilhas de calo.....	50
4	MÉTODOS E TÉCNICAS APLICADOS PARA A ANÁLISE DO CLIMA URBANO.....	53
4.1	O processo Metodológico no Clima Urbano.....	53
4.2	Revisão Bibliográfica.....	55
4.3	Levantamento cartográfico.....	56
4.4	Processamento digital das imagens de satélite.....	57
4.5	Espacialização de dados hidroclimáticos.....	59
5	CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA DO SÍTIO URBANO E DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE.....	60
5.1	Condições Hidroclimáticas.....	60
5.2	Análise da distribuição pluviométrica	61
5.3	Aspectos geológicos, geomorfológicos e fitoecológicos.....	66
6	DINÂMICA HISTÓRICA, SOCIOECONÔMICA E EXPANSÃO URBANA DE JUAZEIRO DO NORTE.....	72
6.1	Da nação dos Kariris ao município Juazeiro do Norte.....	72
6.2	Aspectos socioeconômicos e expansão urbana de Juazeiro do Norte.....	78

7	EVOLUÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA ILHA DE CALOR	
	URBANA.....	82
7.1	Análise geral da evolução das Ilhas de Calor de Superfície.....	82
7.2	A relação da sazonalidade e a distribuição das ilhas de calor superficial	
	nos anos de 1986, 1996 e 2010.....	84
7.3	Ilhas de Calor de Superfície em 1986 (Período chuvoso e seco).....	84
7.4	Temperatura de Superfície de 1996 (Período chuvoso e seco).....	89
7.5	Temperatura de Superfície de 2010 (Período chuvoso e seco).....	94
7.6	O comportamento dos intervalos de classe nos anos de 1986, 1996 e 2010...	98
7.7	Evolução dos valores Mínimos, Médios e Máximos.....	101
8	A RELAÇÃO ILHA DE CALOR, VEGETAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO	
	URBANA.....	106
8.1	A influência das superfícies naturais e urbanas na temperatura de	
	superfície terrestre de Juazeiro do Norte.....	106
8.2	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI.....	107
8.3	NDVI de 1986 (Período chuvoso e seco).....	108
8.4	NDVI de 1996 (Período chuvoso e seco).....	110
8.5	NDVI de 2010 (Período chuvoso e seco).....	112
8.6	NDVI do período chuvoso de 1986, 1996 e 2010	114
8.7	NDVI do período seco de 1986, 1996 e 2010.....	115
8.8	Uso do solo em Juazeiro do Norte nos anos de 1986, 1996 e 2010	123
8.9	Perfil Longitudinal das Ilhas de Calor em Juazeiro do Norte no ano de	
	2010.....	129
9	Perfil Longitudinal das Ilhas de Calor em Juazeiro do Norte no ano de	
	2010.....	135
	REFERÊNCIAS	138

1 INTRODUÇÃO

A cidade é fruto das relações e repercussões da sociedade no espaço geográfico. Este dinamismo relaciona-se com as interações de elementos importantes e que se fazem presentes na urbe, como o aspecto social, cultural, econômico e político. Esta cidade, ao materializar as relações destes elementos, caracterizados, sobretudo, pela heterogeneidade dos mais diversos usos, em grande parte das suas ações, modifica os espaços naturais, desconsiderando suas funções para bem-estar do ambiente urbano. Em meio aos componentes ambientais afetados, dar-se ênfase ao clima urbano, que em resposta a transformação dos ambientes naturais, desencadeiam uma sucessão de fenômenos incluindo o aumento da temperatura de superfície terrestre ou temperatura do ar.

Esta elevação é decorrente de distintos fatores, como a diminuição da cobertura vegetal, os tipos de materiais empregados na construção civil, o aumento da absorção da radiação solar em detrimento da grande quantidade de material construído, a poluição que a cidade emana, a emissão de calor a partir do aumento dos fluxos de mercadorias e pessoas, e a própria particularidade da cidade, como relevo, localização, etc. Estas características pactuadas, auxiliam na formação das ilhas de calor.

As cidades, em sua maioria, atribuem os efeitos das ilhas de calor como um aspecto negativo, em virtude dos problemas ocasionados por este fenômeno, como é o caso das cidades tropicais, onde este fenômeno ocorre sobretudo durante o dia, como demonstrado nos trabalhos de Mendonça (1994) e Moura (2008). Em meio aos itens negativos, eclode o desconforto térmico, o aumento das precipitações, diminuição da ventilação, etc. Na esfera social, há o surgimento de doenças e o aumento dos custos econômicos relacionados à maior demanda na utilização de sistemas de refrigeração.

É nesta perspectiva, que a partir do século XX a compreensão destes fenômenos (como se comportam e suas repercussões no espaço urbano) adquiriu maior importância. No cenário urbano brasileiro, o professor Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro estabelecia parâmetros metodológicos com o propósito de investigar o clima das cidades.

A partir da década de setenta, que efetivamente tais estudos surgiram com a finalidade de analisar o clima urbano propriamente dito. Inicialmente, tais investigações debruçaram-se, sobretudo nas grandes cidades e regiões metropolitanas, muito embora, seguidamente, estes estudos encarregaram-se em averiguar também o comportamento do clima urbano nas cidades médias e pequenas.

A compreensão do clima urbano evoluiu juntamente com o aperfeiçoamento das técnicas de coletas de dados. Quanto as questões termodinâmicas do ambiente, atualmente estes estudos podem empregar estações fixas, transectos móveis, sensoriamento remoto (referente às imagens de satélites), sensoriamento vertical (instrumentos acoplados em diferentes altitudes), cálculo do balanço de energia, sky view factor (fator de visão do céu), dentre outras técnicas.

Com o interesse em colaborar com estudo do clima urbano em especial a compreensão do comportamento das Ilhas de Calor de Superfície - ICS, que este trabalho propôs analisar as características das temperaturas superficiais do município de Juazeiro do Norte, empregando o sensoriamento remoto como técnica exclusiva para obtenção dos dados térmicos da superfície.

O recorte espacial incluído neste estudo, situa-se na Mesorregião do Sul Cearense e na Microrregião do Cariri, porção sudoeste do estado do Ceará, encravado no Nordeste Brasileiro (Figura 01). Este aglomerado urbano acha-se inserido na Região Metropolitana do Cariri-RMC que fora estabelecida recentemente através da Lei Complementar Estadual N° 78, de 29 de Junho de 2009 (DOE, 03/07/2009).

O município de Juazeiro evidencia um dinamismo marcado pelo crescente desenvolvimento econômico e ocupação urbana, decorrente da evolução do setor terciário (bens e serviços) e impulsionado inicialmente pelo turismo religioso em virtude da figura do Padre Cícero.

Desde sua emancipação política, estabelecida na data de 22 de julho de 1911, a população de Juazeiro encontra-se em crescimento e com base nas estimativas, o ano de 2016 apresentaria aproximadamente 268.248 mil habitantes (IBGE, 2016).

Assim como grande parte das cidades brasileiras, Juazeiro do Norte demonstra uma significativa modificação dos espaços naturais. E referente aos contrastes térmicos, o referido município expõe características que parcialmente analisadas apresentam predisposição à alteração do clima local, devido à utilização de materiais como coberturas, pavimentos e calçamentos que apresentam propriedades de caráter seco, impermeável e estanque, funcionando como isolador térmico, incapaz de dissipar o calor proveniente do sol rapidamente.

Nesta perspectiva, levantou-se a hipótese que o resultado da combinação dos elementos mencionados anteriormente, juntamente com a alteração do balanço de energia, evaporação e evapotranspiração reduzida, e aumento do calor antropogênico, dentre outros

fatores, pode representar na variação dos contrastes térmicos do espaço urbano de Juazeiro do Norte.

Os trabalhos referentes ao clima urbano no estado do Ceará, concentram-se na Região Metropolitana de Fortaleza-RMF, com significativos trabalhos no âmbito termodinâmico e hidrodinâmico. No caso das cidades que compõe a Região Metropolitana do Cariri-RMC, e sobretudo Juazeiro, são escassas as investigações na perspectiva térmica.

Há um cabedal teórico extenso direcionado ao município estudado, e estes escritos em sua maioria, destinam-se à figura do Padre Cícero, denotando a perspectiva religiosa e cultural que a cidade emana, razões estas, justificadas pela própria importância política e econômica, que o padre desempenhou para o surgimento da mesma.

Na ausência de estudos voltados a climatologia urbana, surgiu à necessidade de contribuições direcionadas à compreensão do contraste térmico na cidade investigada. Para reunir informações acerca das características térmicas do município de Juazeiro objetivou-se identificar e analisar os núcleos de calor de superfície através das imagens orbitais. Para tanto, selecionou-se três anos ao longo de 24 anos, sendo 1986, 1996 e 2010, nos respectivos períodos chuvosos (fevereiro a maio) e secos (segundo semestre do ano). Como tratou-se de temperatura de superfície, levou-se consideração a influência da sazonalidade (por isso a necessidade em seccionar em dois períodos distintos). Além do elemento sazonalidade, deu-se importância à vegetação e a disposição dos diferentes tipos de usos do solo para o município, inventariando seus possíveis influxos na temperatura superficial terrestre.

Este estudo encontra-se materializado em sete capítulos englobando a fundamentação teórica e metodológica, caracterização geocológica do sítio urbano e município e a distribuição das Ilhas de Calor de Superfície de Juazeiro do Norte.

Inserido na fundamentação teórica, encontra-se os capítulos 2 e 3. O capítulo 2 empreende uma discussão teórica alusiva às concepções climatológicas fundamentais que sustentam esta pesquisa. Neste capítulo aborda-se questões desde o surgimento e evolução da climatologia geográfica, particularizando a vertente da climatologia urbana e seu interesse em compreender as diferenças térmicas dos espaços urbanizados. Discute-se ainda pontos essenciais para o entendimento das ilhas de calor de superfície (objeto de estudo desta pesquisa), pontuando quais os fenômenos que estão associados e influenciam sua forma e comportamento, tais como o balanço de radiação, a cobertura vegetal e os tipos de superfícies naturais e artificiais encontrados no sítio urbano e município. Por fim, encerra-se a discussão climatológica dando importância às contribuições do Sistema Clima Urbano, em

particular ao subsistema termodinâmico proposto por Monteiro (1976), tendo em vista que este trabalho ancora-se nestas concepções teóricas como artifício de análise dos núcleos de calor de superfície.

O capítulo 3 é dedicado à aplicação do sensoriamento remoto para o estudo das ilhas de calor urbanas. Esta técnica fora utilizada para a aquisição das temperaturas superficiais do município analisado. E neste capítulo, compreende-se que por trás desta ferramenta há princípios físicos que norteiam este emprego, demonstrando como se dá o comportamento espectral dos alvos imageados. Além do uso do sensoriamento remoto para investigar os contrastes térmicos, destaca-se a funcionalidade dos índices de vegetação para este tipo de análise. Ao final do capítulo 3, pontuam-se as limitações e potencialidades desta utilização.

Subsequente no capítulo 4 tratou-se dos procedimentos metodológicos e técnicos empregados para contemplar os objetivos da pesquisa. A descrição desta etapa contemplou o processo metodológico no clima urbano, a revisão bibliográfica, levantamentos cartográficos empregados, o processamento digital das imagens e a espacialização das características hidroclimáticas da área analisada, onde a execução de todos esses procedimentos remonta a construção do presente trabalho.

O capítulo 5, adentrou-se às questões voltadas aos aspectos geocológicos do sítio urbano e do município de Juazeiro do Norte, conglomerando todo o mapeamento ambiental (condições hidroclimáticas, aspectos geológicos, geomorfológico e fitoecológico) do referido município. Seguidamente, o capítulo 6 contempla o mapeamento histórico, pontuando as origens do município e a hierarquização urbana até sua emancipação, destacando ícones históricos que influenciaram o desencadeamento deste processo. Além do contexto histórico, deu-se evidência também aos aspectos socioeconômicos e de expansão urbana do município.

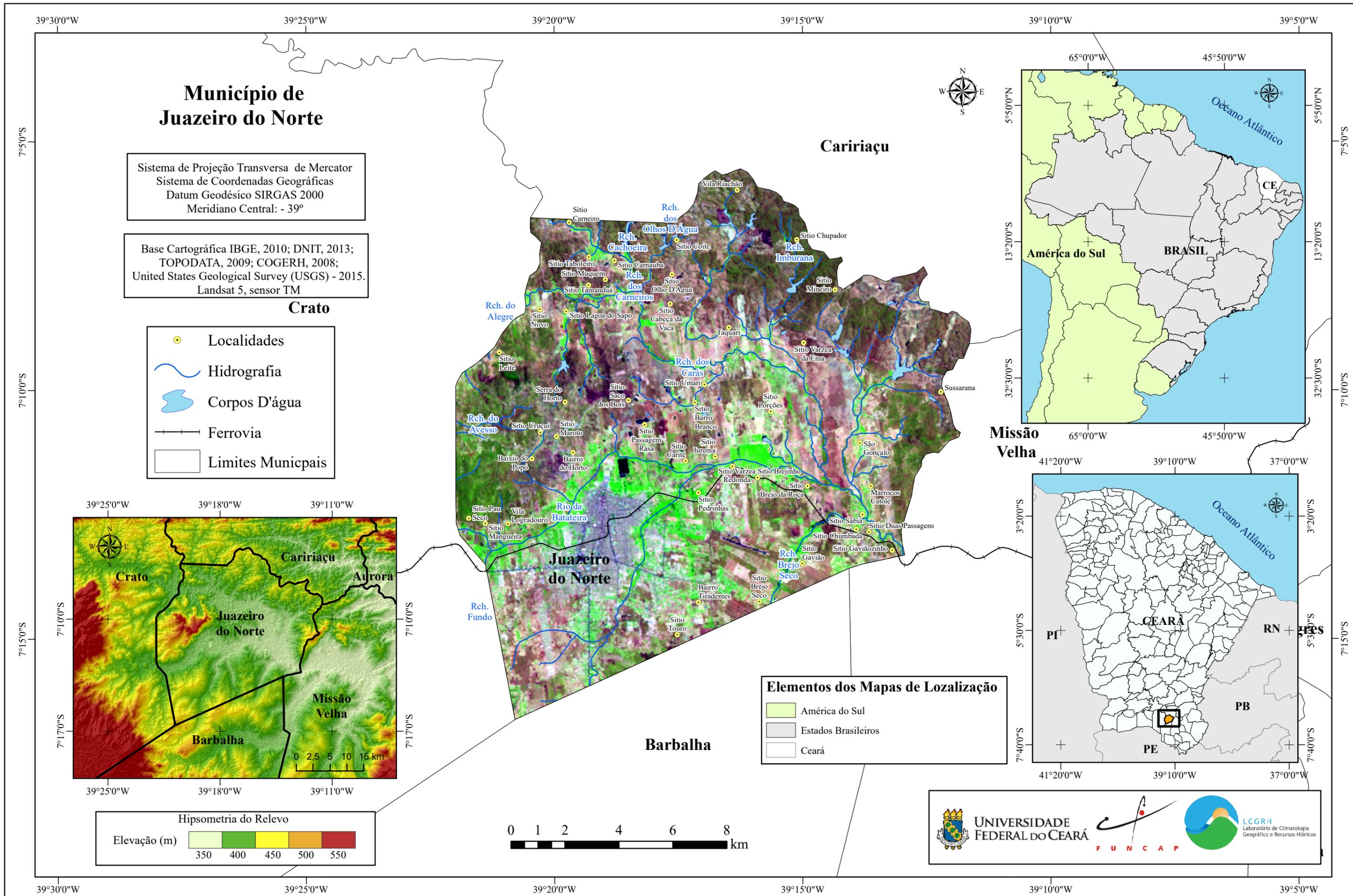
Incluso na última etapa do trabalho, encontram-se os capítulos 7 e 8. No capítulo 7, pontua-se o clima urbano de Juazeiro do Norte sob o nível do campo térmico, com base nas análises realizadas através das imagens de satélite nos anos (1986, 1996 e 2010). Esta discussão prioriza a análise geral da evolução da ilha de calor superficial ao longo dos anos, apresentando a influência da sazonalidade na forma e comportamento dos núcleos de calor, discutindo a espacialização dos intervalos de classes nos anos investigados e como ocorreu a evolução dos valores mínimos, médios e máximos.

No capítulo 8, último capítulo desta investigação as discussões focalizaram a relação entre a ilha de calor, a vegetação e o uso do solo. Nesta etapa, observa-se a influência destes elementos no aumento ou diminuição da temperatura superficial terrestre, relacionando os valores encontrados no recorte rural e urbano. Além desta análise,

especializou-se o perfil longitudinal dos anos estudados a fim de identificar a interferência dos elementos abordados na temperatura de superfície.

Portanto, pretende-se ao final desta investigação científica alcançar informações provenientes das etapas desenvolvidas e distribuídas ao longo dos oito capítulos, onde a partir da relação dos dados obtidos a cerca das condições térmicas do município estudado, espera-se instigar o emprego do sensoriamento nos estudos desta finalidade bem como estimular discussões futuras para contribuir com o reestabelecimento de condições térmicas confortáveis para a população e em particular aos juazeirenses.

Mapa 1 – Localização de Juazeiro do Norte



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

2 O CLIMA URBANO NA PERSPECTIVA GEOGRÁFICA

2.1 A Climatologia e os estudos de Clima Urbano

O clima sempre esteve presente influenciando as primeiras civilizações a ocupar o globo, direcionando-as para o seu apogeu ou declínio, e isto porque, como aponta Fagan (2009), o homem sempre viveu em ambientes imprevisíveis, em estado de constantes mudanças que exigiam adaptações permanentes e oportunas para lidar com as alterações do clima a curto e longo prazo.

Desde os tempos remotos, o ser humano se interessa pelo fator climático, isto por que, as condições atmosféricas influenciavam o mesmo em suas diferentes formas de atividades (AYOADE, 1996). A realidade da sociedade urbana na atualidade não difere muito das antigas civilizações neste aspecto, visto que, as mesmas apresentam impactos resultantes muitas vezes da repercussão do clima, sobretudo nas cidades, que em grande parte são as mais atingidas por apresentarem um ambiente de característica artificial e impermeável, entre outras singularidades, tornando-as de certo modo, vulneráveis as ações de alguns fenômenos, tais como, os eventos de chuvas extremos, as ilhas de calor e a qualidade do ar, que afetam diretamente o meio urbano.

O ser humano constantemente buscou compreender a dinâmica climática e este pensamento só se tornou de certo modo mais científico, a partir das primeiras observações meteorológicas realizadas pelos gregos. A partir de então, esta compreensão só fora retomada no período renascentista, dando destaque a Galileu (inventor do termômetro) e para Torricelli (inventor do barômetro de mercúrio em 1643) (AYOADE, 1996).

Os eventos da atmosfera foram melhores compreendidos com o desenvolvimento de instrumentos responsáveis por mensurar os fenômenos atmosféricos para sua análise e entendimento. É com base nesses episódios, que fora possível o desenvolvimento da Meteorologia e seguidamente da Climatologia contemporânea.

Com a sistematização do conhecimento científico, a Meteorologia encontrou-se inserida no campo das ciências naturais, tendo como seu objeto de estudo os fenômenos isolados da atmosfera. Seguidamente, têm-se o surgimento da Climatologia, alicerçando-se na Meteorologia, no entanto, a primeira, como salienta Pédelaborde apud Zavattini (2009), propõe-se estudar os fenômenos da atmosfera em contato com a superfície terrestre e a distribuição destes fenômenos.

A Climatologia situa-se entre as ciências humanas (Geografia Física) e as ciências

naturais (Meteorologia), estando mais relacionada à primeira do que a segunda. É nesta perspectiva que a Climatologia atua no estudo científico do clima, procurando tratar dos padrões de comportamento da atmosfera e suas interações com as atividades humanas, revelando a ligação da mesma, com a abordagem geográfica do espaço e contribuindo para uma intervenção mais consciente da organização deste espaço geográfico (MENDONÇA; OLIVEIRA, 2007).

Quanto aos primeiros estudos referentes ao clima urbano, estes, desenvolveram-se no continente Europeu, especificamente na Inglaterra. Isso por que, desde o final do século XVIII, a ciência ingressou num contínuo processo de evolução, influenciando no desenvolvimento de tecnologias para promover a produção do trabalho, fato este, que fora utilizado, sobretudo no setor industrial, com o beneficiamento de carvão e desenvolvimento de máquinas a vapor. Este período representou a 1ª Revolução Industrial, tendo como palco inicial a Inglaterra, resultando na modificação significativa da atmosfera urbana de suas cidades.

Em resposta a esta mudança expressiva, surge o naturalista inglês John Evelyn (1620-1706) (considerado como pioneiro no estudo da poluição do ar) responsável por materializar uma crítica severa no formato de folheto, expondo a insatisfação com a utilização do carvão como combustível para a indústria, denominado “*Fumifugium: o inconveniente ar de Londres*”. Referente às questões térmicas da cidade, Luke Howard (1772-1864) aparece como precursor nesses estudos, quando também realizou na cidade de Londres, uma análise das principais características do clima da cidade, detectando um calor artificial na mesma, em relação ao campo (MENDONÇA, 1994; GARTLAND, 2010; GARCIA, 1993).

A partir da Segunda Guerra Mundial, o crescimento das áreas urbanas e metropolitanas, associado ao crescente processo de industrialização, marca as investigações sobre o clima urbano de diversas cidades que se proliferam substancialmente. Na década de 60, ocorre o desenvolvimento de trabalhos a nível internacional que contribuíram efetivamente nos estudos de climatologia urbana, no qual ressalta-se Chandler (1965), Oke (1976), Landsberg (1989), Geiger (1990), Adebayo (1991), García (1996), etc. sendo responsáveis por colaborar com estudos em outras áreas do globo (GARCÍA, 1993).

No que concerne a Climatologia voltada aos trópicos, encontra-se comum entre os pesquisadores o desenvolvimento tardio do conhecimento climático, sendo resultado de fatores que em grande parte, relacionam-se com o próprio histórico do surgimento dos países inseridos nesta zona climática. No Brasil, a instalação do Observatório Astronômico

do Rio de Janeiro em 1827, pautou-se num marco histórico no qual germinariam os primeiros procedimentos científicos que posteriormente proporcionariam o nascimento da Climatologia brasileira e posterior a climatologia urbana (SANT'ANA NETO, 2001).

Houve um esforço para delimitação de parâmetros teóricos e metodológicos para investigação do clima no Brasil. Quanto ao estudo do comportamento do clima urbano, tem-se como evidência o pesquisador Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, responsável por formular a Teoria e Clima Urbano, empregada não só pelos geógrafos climatólogos, mas por pesquisadores de áreas afins, para orientação e desencadeamento de investigações direcionadas ao clima nas cidades brasileiras.

Como é sabido, o fenômeno da urbanização trouxe consigo grandes alterações de cunho ambiental e socioeconômico, como os processos de ocupação, a retirada da cobertura vegetal, impermeabilização dos solos, dentre outros fatores, criando assim o chamado clima urbano (MONTEIRO, 1976). Isso por que, como aponta Garcia (1993) à cidade constitui a forma mais radical de transformação da paisagem natural, pois seu impacto não limita-se apenas na mudança da morfologia do terreno, mas também nas condições climáticas e ambientais. Nessa perspectiva, umas das resultantes que serão intensamente afetadas por estas ações é a variável climática, onde o principal efeito é a gênese do clima urbano.

Para Monteiro (1976, p. 95) “o clima urbano pode ser definido por um sistema aberto que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, podendo ser analisados em três canais de percepção, ambos integrados e articulados”.

Alguns autores preocuparam-se em analisar o clima urbano abordando as alterações comparativas entre o ambiente urbano e suas áreas circunvizinhas, como é o caso de Landsberg (1965) *apud* Lombardo (1985, p. 22), que em seus estudos mostra “diferenças significativas dos dados climáticos no ambiente urbano e rural, permitindo uma visualização das alterações dos parâmetros físicos produzidos pela ação humana”.

Lombardo (1985, p. 22) conceitua o clima urbano destacando que “a intensidade da urbanização, expressa em termos de espaço físico construído, altera significativamente o clima, sendo evidente que tais alterações variam de cidade para cidade em virtude da intensidade do uso do solo, processo de crescimento urbano e das características geoecológicas do lugar”. Nesta linha de compreensão, para Lombardo (1985) o clima urbano engloba o clima de um recorte espacial e seu processo de urbanização, onde o microclima encontra-se próximo a superfície, recebendo influências do espaço urbano.

Nesta perspectiva, altera-se o clima da cidade, em decorrência de mudanças nas características térmicas da superfície, das taxas de evaporação e dos novos padrões de circulação do ar, tendo como consequência denunciadora a formação das chamadas ilhas de calor, que correspondem ao aumento de temperatura de uma determinada área urbana em relação aos seus arredores (BUENO, 1998).

2.2 Balanço de Radiação em Superfícies Urbanas e a influência da Cobertura Vegetal e dos tipos de materiais urbanos na temperatura de superfície

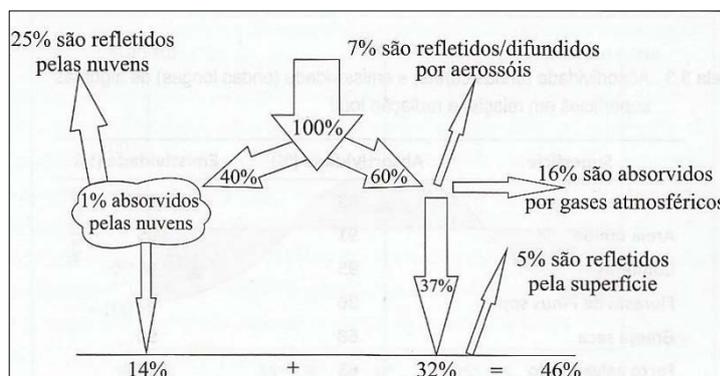
Para entendimento do comportamento das ilhas de calor, bem como suas causas e efeitos no ambiente urbano, é primordial a compreensão de alguns processos que encontram-se numa escala superior, como é o caso do balanço de radiação. Este aspecto dinamiza a interação da energia com a superfície e seu comportamento com os materiais presentes no espaço urbano, materiais estes, que irão dispor de características responsáveis pela amplificação da temperatura.

De acordo com Tubelis e Nascimento (1984 *apud* TORRES, 2012) a radiação solar ao atravessar a atmosfera é atenuada por três processos: difusão (a energia que é espalhada pelas partículas da atmosfera, como gases ou impurezas); absorção (a energia absorvida) e reflexão (a energia refletida). Esta relação materializa o balanço, representado pela diferença entre a entrada e a saída de elementos em um sistema. O processo pelo qual se estabelece as relações de comportamento dessa radiação ao adentrar a atmosfera é descrito pelo balanço de radiação. O balanço de radiação pode ser conceituado levando em consideração a diferença entre a quantidade de radiação que é absorvida e emitida por um dado corpo ou superfície. (AYOADE, 1998).

Para a radiação entrar em contato com superfície terrestre, esta, percorre um emaranhado de processos relativo à interação dessa energia com as nuvens, gases ou partículas presentes na atmosfera. Este processo pode ser compreendido com a descrição realizada por Tubelis e Nascimento (1984 *apud* TORRES, 2012) no qual expõe que, aproximadamente dos 100% da energia solar que penetra na atmosfera, 40% incidem sobre as nuvens, onde 1% é absorvido e 25% são refletidos, chegando apenas 14% à superfície. Os 60% que transpassam as áreas sem coberturas de nuvens, 7% são novamente refletidos por aerossóis e 16% absorvidos por gases atmosféricos, restando 37% à superfície. E por fim, dos 51% que chegam à superfície, 5% é novamente refletido pela superfície, restando 46%

da energia. O encadeamento destas relações é idealizado no esboço desenvolvido pelos autores mencionados, evidenciado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema do balanço de radiação solar médio



Fonte: Tubelis e Nascimento (1984 *apud* Torres 2012).

Ao atingir a superfície terrestre, a radiação solar interage com as diversas feições encontradas na superfície, como as feições naturais (solo, superfícies líquidas, vegetação, rochas, etc.) e as feições artificiais (asfalto, concreto, telhados, etc.).

Pertinente ao balanço energético de uma área urbana sabe-se que a atmosfera da cidade em relação ao campo, diferencia-se pela própria composição. E no caso da atmosfera urbana, sua composição apresenta-se alterada, resultado da presença de elementos gasosos e sólidos que advém da atividade humana. Inúmeros produtos antropogênicos atuam como catalizadores, desencadeando reações químicas e, sobretudo reações fotoquímicas, onde há a intervenção da radiação solar (GARCIA, 1999, p. 23).

Cabível as questões relacionadas à transferência de energia, optou-se utilizar as considerações explanadas por Gartland (2010), na qual, a pesquisadora destaca a importância do conhecimento do balanço de energia, visto que, algumas das principais causas das ilhas de calor estão intrinsecamente relacionados à alteração do balanço de radiação de uma cidade. Para a autora, quando uma superfície absorve energia, em um dado momento, tal energia será transferida e essa transferência pode ocorrer das seguintes formas: aquecendo o ar acima da superfície, evaporando com a umidade ou armazenada nos materiais na forma de calor. A equação que descreve esta relação é a seguinte:

Figura 2 – Balanço de radiação de uma cidade

Cálculo do balanço de radiação
$\text{Convecção} + \text{Evaporação} + \text{Armazenamento de calor} =$ $\text{Calor antropogênico} + \text{Saldo de Radiação}$

Fonte: Gartland (2010). Adaptado pela autora.

A convecção corresponde à energia que é transmitida de uma superfície sólida para uma fluida, no caso da superfície terrestre, para o ar acima desta. A evaporação relaciona-se com a energia transmitida em forma de vapor d'água (nesse caso, a autora também inclui a evapotranspiração). O armazenamento de calor vai depender das propriedades dos materiais, destacando duas propriedades em especial, a condutividade (transmite calor para seus interiores) e a capacidade calorífica (armazenam mais calor). O calor antropogênico representa o calor produzido pelo homem. E por último, o saldo de radiação, engloba quatro processos de radiação diferenciados, que ocorrem na superfície terrestre: radiação solar global, radiação solar refletida, radiação atmosférica e radiação da superfície. (GARTLAND, 2010)

É nesta perspectiva, que estes elementos se veem alterados em virtude da dinâmica presente na cidade, dinâmica esta, apenas encontrada no espaço urbano, constituindo-se não apenas de um fator, mais vários fatores combinados. Para Gartland (2010), isso acontece por que em alguns casos a evaporação é reduzida, em detrimento da quantidade de umidade nos materiais e pela redução da cobertura vegetal, então, como essa energia não fora transferida, encontra-se armazenada na forma de calor nos materiais, fazendo com que aumente o armazenamento de calor, e quanto mais calor armazenado, maior a temperatura. O saldo de radiação também aumenta resultado da menor refletância na cidade, dos níveis de poluição mais elevados, além da convecção reduzida (por conta da diminuição do vento), do calor antropogênico aumentado (gerado pelas atividades do homem urbano, provenientes de diversas fontes, como os edifícios, processos industriais e veículos automotivos e até mesmo das próprias pessoas).

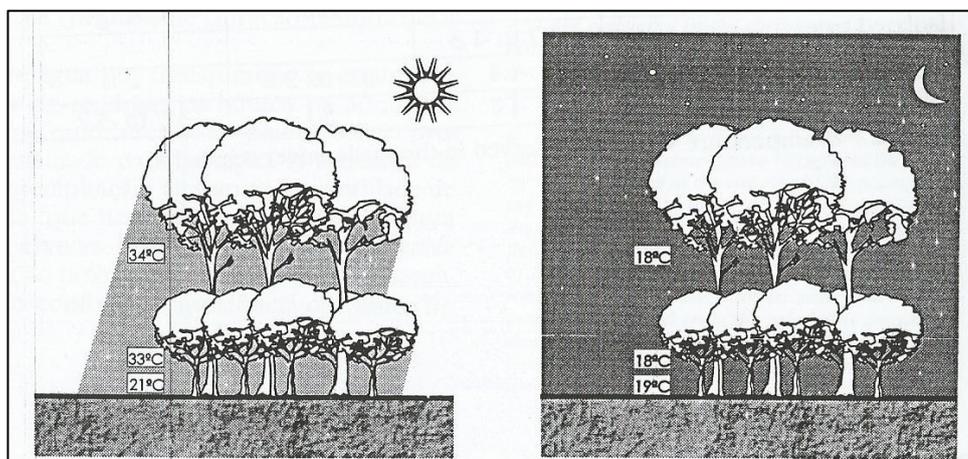
Referente à vegetação, “os espaços verdes em meio urbano cumprem um papel fundamental na melhoria do ambiente, ao nível das condições microclimáticas, do conforto térmico e do comportamento hidrológico; contribuem também para o aumento da biodiversidade e têm diferentes benefícios sociais, econômicos e culturais” (ALCOFORADO, 2008, p. 47).

Como fora discutido anteriormente, a evaporação encontra-se como processo importante para diminuição da temperatura das superfícies, sejam superfícies artificiais ou naturais. Pertencente às superfícies naturais, a vegetação presente na cidade desempenha um papel importante na atenuação das condições térmicas elevadas no espaço urbano. A importância desta, não diz respeito apenas à evaporação/evapotranspiração exercida, mas na contribuição desta, nos outros subsistemas do clima urbano, na medida em que absorve e infiltra os meteoros de impactos (precipitação) e minimiza os poluentes presentes na cidade.

Mascaró (1996) elucida que a atuação da vegetação no microclima urbano depende da forma que este elemento apresenta-se, colocando que “a vegetação atua sobre os elementos climáticos em microclimas urbanos, contribuindo para o controle da radiação solar, temperatura e umidade do ar, ação dos ventos e da chuva e para amenizar a poluição do ar” (MASCARÓ, 1996, p. 68).

No estudo desenvolvido por Mascaró (1996), a referida autora preocupa-se em relacionar a vegetação com alguns elementos que se fazem importantes para o estudo do clima urbano. Dentre os abordados pela pesquisadora (como a relação da vegetação com a radiação, iluminância, temperatura do ar, umidade do ar, vento e sombreamento), destaca-se aqui a relação da vegetação com a temperatura. (Figura 3). A correlação vegetação/temperatura do ar interliga-se ao controle da radiação solar, do vento e da umidade do ar. Nos agrupamentos arbóreos, a vegetação atenua a temperatura do ar de 3°C a 4°C em relação áreas expostas à radiação solar, sendo que a diferença dessa temperatura pode ser acentuada com o aumento do porte da vegetação (MASCARÓ, 1996).

Figura 3 – Variação diária da temperatura do ar (°C) sob agrupamento por espécies vegetais com porte diferenciados



Fonte: Mascaró (1996).

Concernente à amplitude térmica influenciada pela vegetação, a pesquisadora compara esta influência de acordo com as estações do ano e como encontra-se a vegetação, sendo isolada e sob agrupamentos homogêneos ou heterogêneos. É válido destacar, que a variação não se aplica aos trópicos igualmente (Quadro 1).

Quadro 1 – Variação da temperatura sob vegetação nas estações dos anos

Variação de temperatura sob vegetação (°C) em cidade de latitude média				
Orientação	Verão	Outono	Primavera	Inverno
Árvores Isoladas	3,7 a 1,3			8,0 a 1,1
Grupos heterogêneos	4,4	3,6 a 2,8		5
Grupos homogêneos	4,7	3,1	3,7 a 3,2	5,1

Fonte: Mascaró (1996). Adaptado pela autora.

Na grande maioria dos trabalhos direcionados ao estudo do campo térmico, a vegetação, juntamente com os corpos hídricos, são apontados como agentes responsáveis no controle da temperatura. Lombardo (1985) ao estudar as ilhas de calor em São Paulo-SP constatou que as áreas desocupadas e parques, estão quase ausentes no centro da cidade, passando a aparecer na medida em que se direciona a periferia urbana. A ausência desses espaços contribui para o contraste no balanço de energia entre o centro e periferia na metrópole, criando condições espaciais propícias à formação das ilhas de calor.

Oke (1987) destaca que o sombreamento advindo da vegetação atua no resfriamento da temperatura por interceptar radiação solar, precavendo o aquecimento das superfícies. Mendonça (1994) identificou que os poucos espaços verdes em Londrina-PR, aliados à concentração de edificações verticais, vias asfaltadas, unido à circulação de veículos e pessoas, atestaram para a ocorrência das maiores amplitudes de temperatura entre as áreas urbanas e rurais. Moura (2008) buscando compreender as ilhas térmicas em Fortaleza, no estado do Ceará, constatou no Parque do Cocó uma diferença de 4,7°C, em relação às áreas mais urbanizadas na cidade.

Gartland (2010) elucida que as árvores e a vegetação como um todo ameniza as temperaturas de suas adjacências de duas maneiras, visualizadas no quadro a seguir:

Quadro 2 – Influência da vegetação na temperatura

Resfriamento com Árvore e Vegetação	
1	A evapotranspiração converte a energia solar em água evaporada ao invés de calor, mantendo as temperaturas da vegetação e do ar mais baixas. (GARTLAND, 2010, p. 64,65)
2	Árvores e vegetação promovem sombras para as superfícies e protegem-nas do calor do sol, mantendo essas superfícies mais frescas e reduzem o calor armazenados por elas. (GARTLAND, 2010, p. 64,65)

Fonte: Gartland (2010). Adaptado pela autora.

Diferentemente da resposta da vegetação presente na cidade e sua interferência positiva na temperatura, não se pode dizer o mesmo de grande parte dos materiais utilizados

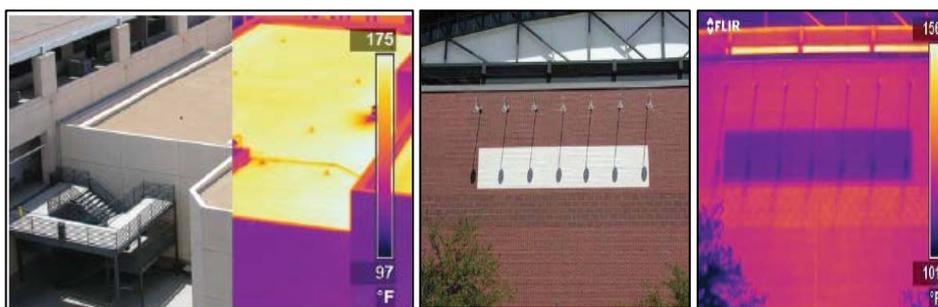
nas edificações urbanas, em virtude, novamente da propriedade térmica que estes materiais apresentam, não dispendo de umidade suficiente para dissipar o calor armazenado.

A energia solar é composta de radiação ultravioleta, luz visível e infravermelha, atingindo a superfície em diferentes porcentagens: 5% da energia solar estão no espectro UV, 43% da energia solar é luz visível, em cores que vão do violeta ao vermelho e os 52% restantes da energia solar é o infravermelho, sentida como calor. Quando a energia atinge a superfície, ela pode refletir, este processo chama-se reflexão solar (albedo) sendo medida em porcentagem. Outro processo importante para delimitar a relação da temperatura com a superfície é a emitância (PEA, 2013).

A superfície exposta à energia radiante tende a se aquecer até atingir o equilíbrio térmico. A emitância de uma superfície determina quanto calor vai irradiar por unidade de área a uma dada temperatura. Estas respostas têm efeitos significativos sobre a temperatura da superfície (PEA, 2013).

Dentre os materiais presentes no ambiente urbano, destacam-se as coberturas e pavimentos. As coberturas clássicas expõem as temperaturas mais elevadas, atingindo temperaturas de 150 a 185 ° F (66-85 ° C), criando assim, uma série de superfícies quentes na cidade. O emprego desses materiais acarreta problemas nas edificações no qual são instalados, problemas estes, pertinentes as questões térmicas, pois por conta das suas propriedades físicas, oferecem temperaturas internas mais elevadas, sendo capaz de transmitir esse calor para o interior das estruturas, causando desconforto no ambiente. Na figura 4 observa-se uma cobertura tradicional e sua temperatura de superfície.

Figura 4 – Temperatura de superfície de uma cobertura tradicional



Fonte: ASU National Center of Excellence citado pela PEA (2013).

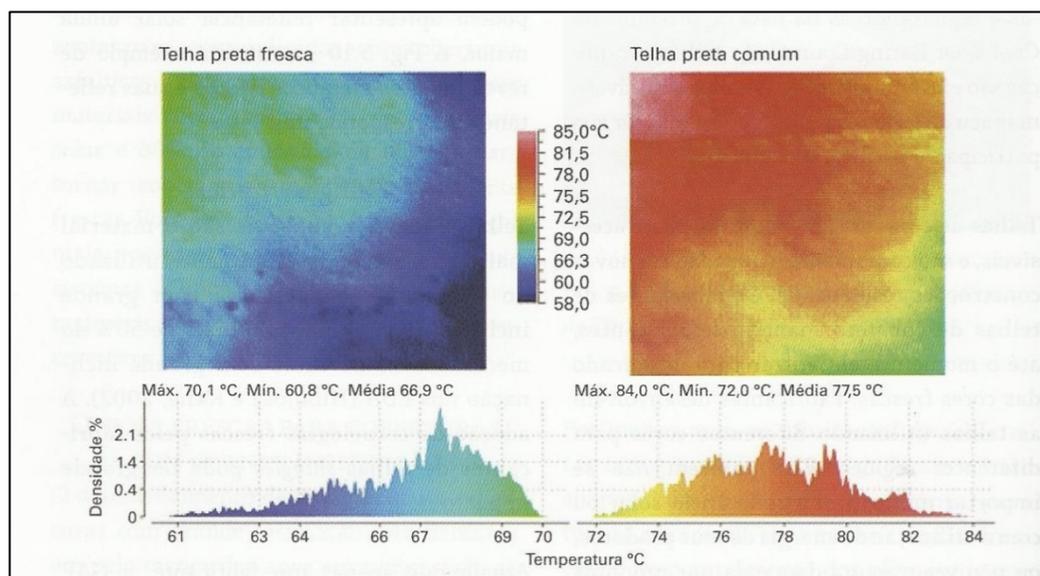
Pertinente aos tipos de coberturas e dependendo do tipo de material empregado há diferenças significativas. Telhados escuros atingem 74 ° C a 85 ° C ao meio-dia durante o verão. Um telhado metálico possui alta refletância e baixa emissividade térmica e pode aquecer a 66 ° C a 77 ° C. Já os telhados frescos, possuem alta refletância e alta emitância e

alcançam 43 °C a 46 °C no verão, sendo válido destacar que estes valores oscilam de acordo com as condições locais (PEA, 2013; GARTLAND, 2010).

No entanto, na construção civil, ou em estudos empregado por arquitetos, engenheiros de materiais, dentre outras áreas afins, há o desenvolvendo de materiais com características térmicas mais amenas. Gartland (2010) salienta que as coberturas frescas, contrariamente as coberturas tradicionais, se mantêm mais amenas em relação a incidência solar, atingindo aquecimento de 40°C a 60°C.

Estas superfícies têm duas características fundamentais: alta refletância solar ou albedo (porcentagem de energia solar refletida) e alta emissividade térmica. (GARTLAND, 2010) A diferença da temperatura de superfície entre as coberturas tradicionais e as coberturas frescas podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 – Diferença de temperatura de superfície em telhas frescas e tradicionais



Fonte: Gartland (2010).

Respectivo aos pavimentos, assim como ocorre com as coberturas, empregam-se superfícies tradicionais, geralmente na cor escura e impermeáveis. Estas superfícies possuem refletância solar baixa, e temperaturas elevadas, atingindo facilmente 60°C, resultado da sua incapacidade de infiltração, não evaporando o calor absorvido e armazenado. Estas superfícies podem transferir calor para o subsolo do pavimento, onde, durante a noite relançam na forma de calor (PEA, 2013).

Dentre os pavimentos mais empregados, predomina o asfalto e o concreto (Quadro 3). O asfalto, por sua coloração, tende a apresentar temperaturas mais altas, no entanto, com

o passar do tempo, este elemento, ao passo que se desgasta, apresenta uma coloração mais clara e conseqüentemente, refletirá mais do que em seu primeiro estado. Referente ao concreto, o mesmo, exprime uma coloração mais clara e dispõe de uma refletância mais elevada e tendem a manterem-se mais frescos sob a incidência solar (GARTLAND, 2010). É interessante destacar que estes elementos variam termicamente durante o dia e noite, por conta do sombreamento e incidência solar.

Quadro 3 – Diferença entre o asfalto e o concreto

Diferença entre os Tipos de Pavimentos Comuns			
	Cor	Refletância	Temperatura do ar a 34°C no Verão
Asfalto	Preta ou cinza	5-10%	57°C
Concreto	Cinza Claro	35-40%	38°C

Fonte: Gartland (2010). Adaptado pela autora.

Na figura 6 podemos visualizar uma imagem de Phoenix, Arizona, no verão. Identificamos uma variedade de pavimentos convencionais, que atingiu temperaturas de até 150 ° F (67 ° C).

Figura 6 – Temperatura de superfície dos pavimentos



Fonte: National Center of Excellence on SMART Innovations at Arizona State University citado pela PEA (2013).

Contrariamente, existem os pavimentos frescos, responsáveis por possuir uma refletância superior, além de apresentar características permeáveis, permitindo o resfriamento evaporativo, auxiliando a mantê-lo e mantendo a temperatura abaixo dos 50°C (GARTLAND, 2010; PEA, 2013). Existem outras características que podem auxiliar no desenvolvimento de pavimentos frescos, como: maior rugosidade (causando turbulência no ar acima da superfície e favorecendo a convecção), baixa condutividade térmica (aquecendo a superfície, mas não transferindo calor para as outras camadas) e baixa capacidade calorífica (armazenando menos calor) (PEA, 2013).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (PEA), não se sabe a influência destes pavimentos frescos nas ilhas de calor, muito embora, pesquisadores do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), estimam que a cada 10% de aumento na refletância solar, poderiam diminuir as temperaturas de superfície em 4°C. E se a refletância dos pavimentos em toda a cidade fosse aumentada de 10% para 35%, a temperatura do ar poderia ser reduzida em 0,6°C.

2.3 Ilhas de calor urbanas

As ilhas de calor urbanas são um dos objetos de estudos do Subsistema Termodinâmico, muito embora, este termo venha sendo discutido desde o século XIX, onde investigações foram desenvolvidas buscando interpretar o comportamento deste fenômeno, sob diferentes abordagens, distintas áreas de estudo e variadas técnicas de análise.

Inicialmente, é pertinente destacar que o conceito de ilhas de calor adotado nesta investigação apresenta-se no contexto interurbano, quando as alterações são obtidas pelo maior valor mensurado na cidade, relacionando com os valores encontrados nas franjas urbanas, tendo em vista, que a análise térmica deste trabalho realizou-se no município por completo e não apenas na cidade. Esta opção interage com as diferenças de temperatura de superfície entre as áreas urbanas em relação às áreas adjacentes. Isto acontece devido ao conjunto de estruturas presentes nas cidades, estruturas estas, não encontradas no ambiente rural, como confirma Lombardo (1985) ao elucidar que “a ilha de calor urbana corresponde a uma área na qual a temperatura de superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, o que propicia o surgimento da circulação local”.

“Em resumo, as ilhas de calor podem ser definidas como anomalias térmicas evidenciada nos centros das cidades e produzidas por elas mesmas” (GARCÍA, 1993).

Este fenômeno relaciona-se diretamente com o “stress térmico” encontrado nos centros urbanos e ocasionado por uma série de elementos que vão gerar este aumento na temperatura, excedendo as delimitações de tolerância dos cidadãos.

Oke (1987) esclarece as principais causas das ilhas de calor, acrescentando outros elementos, que podem ser observados nos itens abaixo, como os:

- Aspectos relacionados à geometria urbana que dinamizam o aumento da absorção da radiação solar, tendo em visto, a presença de uma área mais extensa, estando associado ao baixo albedo (refletividade de uma superfície) que por sua vez é

resultado das múltiplas reflexões entre as estruturas urbanas, além da própria redução da velocidade do vento;

- A poluição do ar presente na cidade, influenciando o acréscimo da radiação de grande comprimento de onda proveniente da atmosfera mais poluída, resultando no excedente de temperatura;
- Emissão de calor devido fatores antropogênicos;
- A Influência da cobertura (diminuição da evapotranspiração por conta da redução da cobertura vegetal do solo) e dos materiais construídos (ampliação da absorção de calor devido às propriedades térmicas desses materiais de construção);

Para Gartland (2010) as ilhas de calor são formadas em áreas urbanas e suburbanas, por que muitos materiais de construção comuns absorvem e retém mais calor proveniente do sol, do que superfícies naturais em áreas rurais menos urbanizadas. Para a autora há duas razões para tal aquecimento:

- A maior parte dos materiais de construção é impermeável e de estanque, e por esta razão não há umidade disponível para dissipar o calor do sol (GARTLAND, p. 9, 2010).
- A combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração tipo cânion absorve e armazena mais energia solar (GARTLAND, p. 9, 2010).

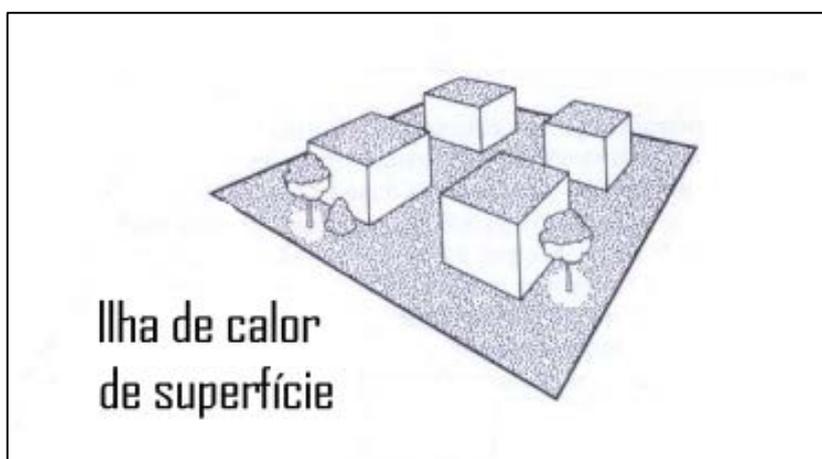
Ainda levando em consideração o raciocínio de Gartland (2010), a mesma expõe que a temperatura de superfícies escuras e secas, mencionadas anteriormente, pode alcançar a faixa dos 88 °C no período diurno, diferentemente de áreas que apresentem vegetação e solo úmido sob as mesmas condições, alcançando apenas 18 °C.

Na literatura, existem observações distintas dos tipos de ilhas de calor e as abordagens e as técnicas de análise empregadas resulta nos diferentes formatos que as I.C podem apresentar-se. Oke (1987) reconhece dois tipos: as ilhas de calor atmosférica inferior/superior e de superfície. Alcoforado (2007) distingue três tipos de ilhas de calor, que encontram-se relacionadas entre si, muito embora, sua dinâmica temporal, magnitude, e gênese, sejam diferenciadas, sendo: ilhas de superfície, da atmosfera inferior e da atmosfera superior, onde a primeira, corresponde com a ocorrência de temperaturas mais elevadas nas superfícies urbanas do que nas rurais. Arrau e Peña (2009 *apud* FIALHO, 2008) elucida os principais tipos de ilhas de calor da seguinte forma: ilha de calor de superfície, ilha de calor micro-urbana e ilha de calor negativa, caso a cidade se apresenta mais fria em relação ao

campo. Fialho (2008) também reconhece três tipos, sendo: ilhas de calor atmosférica, vertical e de superfície.

Neste estudo, adotou-se trabalhar com as Ilhas de Calor de Superfície - I.C.S (Figura 7), na qual é caracterizada pela temperatura encontrada nas superfícies urbanas e rurais. Para Gartland (2010) as temperaturas de superfícies variam bem mais do que as temperaturas do ar ao longo do dia e da noite, e esta particularidade acontece por que muitas superfícies urbanas, como coberturas e calçamentos, são aquecidas pela radiação solar, e suas temperaturas podem variar entre 27°C a 50°C mais quentes que a temperatura do ar. Ainda em conformidade com a autora a temperatura do ar em uma típica cidade de latitude média dos Estados Unidos varia de 15°C a 38°C no verão, e as superfícies urbanas podem atingir temperaturas de pico de 43° a 88°C (GARTLAND, 2010, p. 16).

Figura 7 – Ilha de Calor de Superfície – I.C.S



Fonte: Voogt e Oke (2003).

Para análise deste fenômeno, evidencia-se o emprego do Sensoriamento Remoto (SR), onde a partir deste, fora possível investigar satisfatoriamente, questões relacionadas ao comportamento da temperatura de superfície e sua magnitude.

A utilização do SR em estudos de clima urbano vem tornando-se bastante empregado, por oferecer visões de diferentes escalas temporais e espaciais, permitindo a utilização de dados do infravermelho (SANTOS, 2011). Isto por que, as imagens orbitais possibilitam a extração e identificação de informações contidas nas imagens de satélite, onde em seguida, podem ser tratadas por meio de *softwares* especializados em análise, processamento e manipulação de imagens, e após a aplicação de técnicas inseridas no geoprocessamento, o resultado geralmente pode se dar em outra imagem, sendo possível a identificação de informações necessárias para o desenvolvimento do estudo, contribuindo para uma melhor compreensão do comportamento da ilha de calor, para, por conseguinte, o

desenvolvimento de estratégias para o convívio junto aos aspectos negativos causados por este fenômeno.

As consequências das ilhas de calor representam impactos efetivos de diversos tipos. Salientam-se aqui os impactos negativos, tendo em vista, que nas cidades tropicais, as ilhas de calor não são visualizadas positivamente, sendo responsáveis por desencadear alguns inconvenientes. García (1993) destaca o fator meteorológico, isso por que, a ilha de calor é a formação de um fenômeno de convecção urbana, favorecendo a concepção de nebulosidade e até mesmo precipitação, e no caso das cidades brasileiras, que apresentam um sistema de drenagem não muito eficaz, poucos milímetros podem representar um caos, pertinente aos alagamentos que se formam nas cidades. Outro aspecto importante, diz respeito ao desconforto causado pelo aumento da temperatura, bastante salientado nos estudos que propõe investigar as ilhas de calor na perspectiva do conforto térmico, além do surgimento de doenças respiratórias ou outros tipos de distúrbios que venham a ser influenciados pelas temperaturas mais elevadas. Por último, destacam-se os custos econômicos gerados pela maior demanda de energia, influenciadas pela utilização de equipamentos de refrigeração, investimentos médicos, gasto público com as demandas causadas com os episódios mais frequente de enchentes, etc.

Para minimizar os efeitos ocasionados pelas ilhas de calor, necessita-se de uma ação conjunta da esfera gestão e da esfera cidadão, visto que, os cidadãos encontram-se como indivíduos regulador do Sistema Clima Urbano. Então, só a partir do desenvolvimento de planos de ação, é possível a minimização desses efeitos, como a exemplo da idealização das “comunidades frescas” proposto por Gartland (2010), no qual sugere o desenvolvimento de coberturas e pavimentos frescos, além da inserção de árvores e vegetação distribuídas nos perímetros urbanos para a atenuação da temperatura de superfície ou do ar.

2.4 O Sistema Clima Urbano-S.C.U

Monteiro (1976) é um dos grandes responsáveis no desenvolvimento de uma nova vertente de análise voltada à investigação do clima na cidade e a tese apresentada ao concurso de Livre-Docência junto ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, nomeada “Teoria e Clima Urbano”, pode representar tal marco.

O quadro de referência teórico para investigação e compreensão do clima urbano,

encontra-se alicerçado na Teoria Geral dos Sistemas, desenvolvida por Von Bertalanffy (1973), e tal escolha, fora justificada pelo próprio autor quando aponta ser “uma preferência paradigmática, imaginando-a capaz de revelar a essência de um fenômeno de complexidade por demais saliente, e por isso mesmo demasiado importante, a ser conhecido” (MONTEIRO, 2011, p. 16).

O Sistema Clima Urbano - S.C.U, conforme Monteiro (1976, p. 95, 96) explana,

É um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização, onde o espaço urbanizado se identifica a partir do sítio, que constitui o núcleo do sistema, mantendo relações com o ambiente regional, no qual as entradas de energia são de natureza térmica, oriundas da fonte primária que é o sol.

Este sistema encontra-se estruturado a partir dos critérios de escolha, enunciados básicos, questões de consistência e os canais de percepção. Os critérios de escolha destinam-se ao emprego do pragmatismo, dinamismo, consistência, empirismo e modelismo, que correspondem aos critérios adotados por seu formulador, direcionando o estudo do clima urbano, a partir do S.C.U.

Referente aos enunciados básicos, estes, consistem nas ideias fundamentais que regulam o sistema clima urbano, muito embora, o seu formulador destaque, que os enunciados não representam axiomas ou postulados, e sim, uma forma de nortear a investigação do ambiente urbano (Quadro 4).

Quadro 4 – Enunciados básicos do S.C.U

Enunciados Básicos	
1	O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. (MONTEIRO, p. 95, 1976)
2	O espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere. (MONTEIRO, p. 96, 1976)
3	O S.C.U importa energia através de seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos. (MONTEIRO, p. 96, 1976)
4	As entradas de energia no S.C.U. são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra – o sol), implicando componentes dinâmicos inequívocos determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto. (MONTEIRO, p. 97, 1976)
5	A avaliação desta entrada de energia no S.C.U. deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão. (MONTEIRO, p. 98, 1976)
6	A estrutura interna do S.C.U. não pode ser definida pela simples superposição ou adição de suas partes (compartimentação ecológica, morfológica ou funcional urbana), mas somente por meio da íntima conexão entre elas. (MONTEIRO, p. 99, 1976)

7	O conjunto-produto do S.C.U. pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana. (MONTEIRO, p. 100, 1976)
8	A natureza urbana do S.C.U. implica condições especiais de dinamismo interno consoante o processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez várias tendências ou expressões formais de estrutura se sucedem ao longo do processo de urbanização. (MONTEIRO, p. 100, 1976)
9	O S.C.U. é admitido como passível de autoregulação, função essa conferida ao elemento homem urbano que, na medida que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através de seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retroalimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas. (MONTEIRO, p. 101, 1976)
10	Pela possibilidade de interferência autoreguladora, acrescentam-se ao S.C.U., como sistema aberto, aquelas propriedades de entropia negativa pela sua própria capacidade de especialização dentro do crescimento através de processos adaptativos, podendo ser qualificado, assim, como um sistema morfogenético. (MONTEIRO, p. 102, 1976)

Fonte: MONTEIRO (1976). Adaptado pelo autor

Inclusos no S.C.U., encontram-se três subsistemas que se articulam e se integram, sendo o termodinâmico, no tocante ao conforto térmico, o hidrodinâmico, no que tange os meteoros de impactos, e o físico-químico, pertinente à qualidade do ar. Conforme Monteiro (2011, p. 43)

Trata-se de um artifício para comodidade da análise que, como qualquer análise, não pode ser executada diretamente ao todo. Creio que ao propor esses canais abstratos, que se iniciam na essência da atmosfera e desembocam na percepção humana, quero ser coerente com a abordagem sistêmica e com a condição lógica de análise.

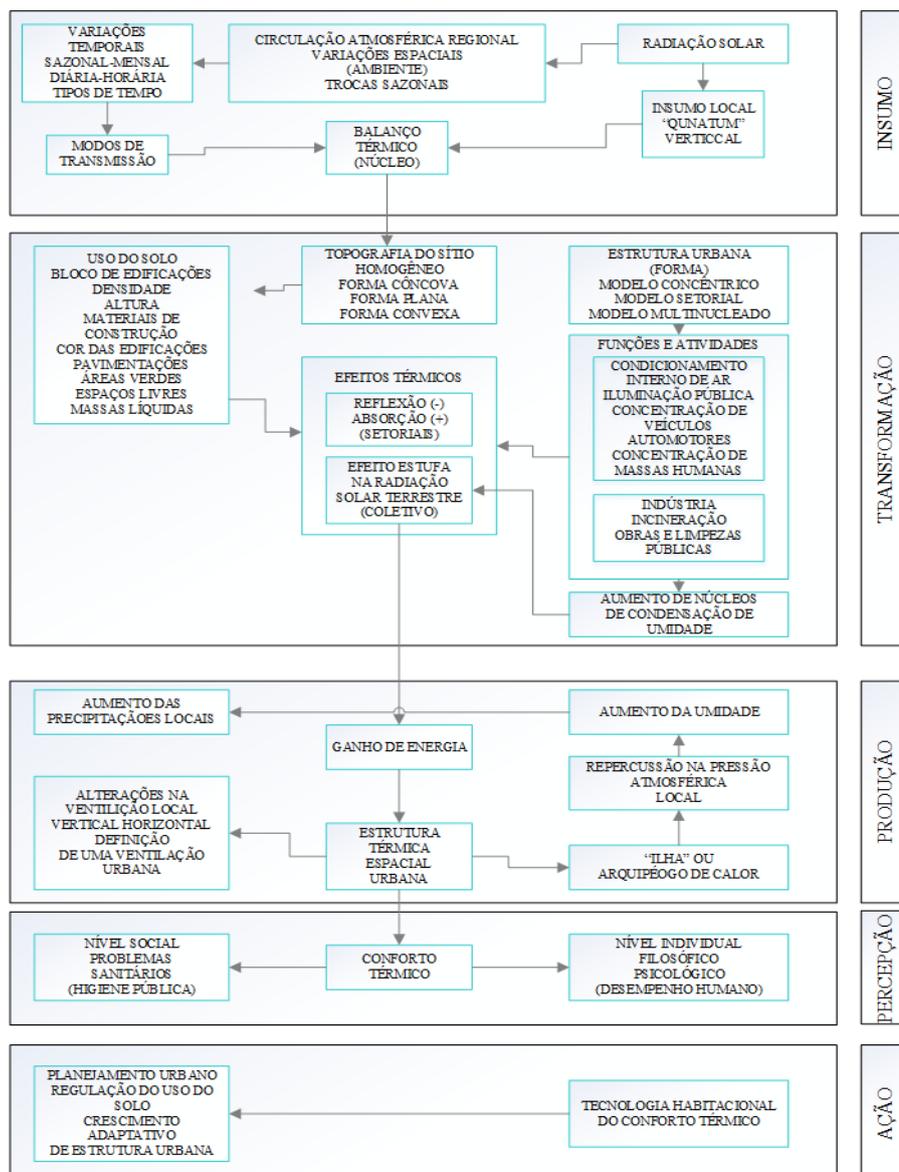
Dentre os canais abstratos, o termodinâmico preocupa-se em compreender as ilhas de calor, a ventilação e o conforto e desconforto térmico.

Logo, o presente estudo desenvolve-se a partir do subsistema termodinâmico, onde encontra-se como objeto de estudo as Ilhas de Calor Urbanas, bem como a Ilhas de Calor de Superfície – I.C.S. Para Monteiro (1976) “Dentro do esquema do S.C.U., esse canal atravessa toda a sua estrutura, pois que é o insumo básico, é transformado pela cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida atuante no sistema. O uso do solo, a morfologia urbana, bem como suas funções, estão intimamente implicados no processo de transformação e produção. (MONTEIRO, 2011, p. 44)

Na diagramação do Sistema Termodinâmico (Figura 8), Monteiro (1976) apresenta cinco níveis de resolução que se integram, o insumo, a transformação, a produção, a percepção e a ação. O insumo implica na entrada de energia e sua repercussão na circulação atmosférica. A transformação destina-se a “passagem” da energia no ambiente urbano e toda

sua interação com os componentes que caracterizam a cidade. A produção corresponde à geração de uma estrutura térmica na cidade que resulta no aumento da umidade, aumento das precipitações, alteração na ventilação da cidade e as ilhas de calor. A percepção remete-se aos elementos do nível anterior que repercute na sociedade de forma coletiva (problemas sanitários) ou individual (desempenho humano). E por último, tem-se a ação, destinada a reparação do homem através de artifícios individuais (mecanismos voltados ao conforto térmico) e coletivo (referente ao planejamento urbano).

Figura 8 – Subsistema Termodinâmico do S.C.U.



Fonte: Monteiro (1976). Adaptado pela autora.

3 SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUPORTE AOS ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR URBANAS

3.1 Os princípios físicos que norteiam o emprego do Sensoriamento Remoto nos estudos de Ilhas de calor

O sensoriamento remoto pode ser conceituado como a obtenção remota de informações da superfície terrestre através de sensores, muito embora, esta conceituação exprima de maneira genérica o legítimo significado desta tecnologia, que para alguns como Jensen (2010) considera-o como ciência.

Na literatura, há uma variedade de definições referente ao sensoriamento remoto, exemplificando pontos de divergência e convergência conceitual entre os autores. Dentre estes emaranhados de definições, emprega-se a interpretação do sensoriamento remoto como sendo “a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 2010, p. 29).

Para que o processo descrito acima ocorra, é necessária a utilização de energia e a energia utilizada é a radiação eletromagnética. Esta energia pode ser proveniente de uma fonte natural, como o sol e o calor emitido pela superfície terrestre, ou artificial, como um sinal elétrico emitido por um radar. A energia eletromagnética se propaga na forma de ondas eletromagnéticas, movendo-se à velocidade da luz (300.000 km/s), e esta, é mensurada em frequência, em unidades de hertz (Hz) e comprimento de onda (λ) em unidades de metro, como micrômetros (μm). A distribuição da energia eletromagnética é representada pelo espectro eletromagnético que divide-se por bandas, regiões ou faixas espectrais de acordo com o comprimento de onda e frequência (FITZ, 2009; FLORENZANO, 2011)

Dentre as regiões do espectro eletromagnético, dar-se evidência a região do infravermelho termal, por evidenciar as interações térmicas apresentadas por um determinado alvo.

Concernente ao funcionamento do sensoriamento remoto no infravermelho termal, Jensen (2011) elucida que todos os objetos que apresentam temperatura acima do 0 K (-273,15°C) emitem energia eletromagnética. Nesse caso, os elementos encontrados na

superfície terrestre, como cobertura vegetal, solo, rocha, água, dentre outros, emitem radiação eletromagnética infravermelha termal de 3,0 - 14 μm do espectro eletromagnético. Estes objetos apresentam um movimento aleatório, e a energia das partículas da matéria em movimento aleatório é denominada de calor cinético (calor interno ou verdadeiro), quando as partículas colidem, estas alteram seu estado de energia e emitem radiação eletromagnética. O calor interno de um objeto é convertido em energia radiante (frequentemente chamada de energia aparente) o que permite utilizar a tecnologia de sensoriamento remoto (JENSEN, 2011).

Como apresentado anteriormente e exposto por Novo (2010) “a energia envolvida na porção 3,0 μm - 20,0 μm é proveniente basicamente de vibrações decorrentes da temperatura dos corpos [...] Essa radiação é função basicamente da temperatura do corpo e de sua emissividade (ϵ)”. Para um corpo constituído por um determinado material, a energia radiante depende de sua temperatura. Desta forma, quanto maior for à energia radiante detectada pelo sensor, maior a temperatura. Sendo assim, para o sensoriamento remoto termal, o mesmo preocupa-se em decodificar medidas de radiação de uma fonte imageada remotamente pelo sensor, em relação à sua temperatura cinética (calor interno ou verdadeiro), para realizar tal processo, necessita-se admitir que o alvo imageado comporte-se como um corpo negro. A relação entre a energia que deixa um objeto e sua temperatura é descrita pela *Lei de Planck* (Quadro 5) (NOVO, 2010, p. 65, 66).

Quadro 5 – Equação da Lei de Planck

Equação	
Sendo:	$\frac{B\lambda = C1}{\lambda^5 (\epsilon c^2/\lambda T - 1)}$
Bλ	A radiância espectral em unidades $\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ no comprimento de onda λ (expresso em micrômetros)
C1 e C2	São constantes físicas determinadas experimentalmente
T	Temperatura física do objeto medida em graus Kelvin

Fonte: Novo (2010). Adaptado pela autora.

Para interpretação dos dados do sensoriamento remoto, precisa-se utilizar a função inversa, visto que, o que o sensor mensura, é a radiância espectral ($B\lambda$) e o que pretende-se alcançar é a temperatura. Nesse caso, como a equação de Planck fora desenvolvida para o corpo negro (*Black Body*), a temperatura que é estimada pelo sensor é por convenção chamada de temperatura *black body*, referente a temperatura aparente (NOVO, 2010).

O marco inicial para o desenvolvimento do sensoriamento remoto no infravermelho encontra-se atrelado ao astrônomo do século XVIII, Herschel (1738-1822), responsável por descobrir a região infravermelha do espectro, através do emprego de um termômetro para verificar os efeitos térmicos nas diferentes regiões do espectro eletromagnético (DANOSO, s.d).

Dentre os primeiros satélites a disponibilizar informações referentes ao infravermelho, destaca-se o *U.S Television IR Operational Satellite (TIROS)*, lançado em 1960 e precursor no fornecimento de dados do infravermelho termal para uso civil, que embora apresentasse um produto grosseiro, fora responsável por disponibilizar dados para o monitoramento de padrões de nuvens e o comportamento das frentes (JENSEN, 2011).

Embora os primeiros satélites e sensores tenham contribuído significativamente nos estudos de natureza térmica, grande parte encontravam-se inseridos na categoria de satélites meteorológicos, dispendo de resolução espacial baixa e por imagearem, sobretudo a dinâmica atmosférica, como é o caso do TIROS II sendo utilizado nas primeiras investigações desenvolvidas por Fritz (1963), especificamente na análise de ilhas de calor, por meio do diagnóstico da variação da temperatura superficial da área central dos Estados Unidos. Outro estudo de grande relevância fora o concebido por Rao (1972), fazendo uso de dados termais provenientes de satélites obtidas por intermédio do *Scanning Radiometer (SR)*, a bordo do satélite *Improved TIROS (ITOS-1)*, para especializar um corredor urbano entre *New York, Philadelphia, Baltimore e Washington- DC* (NASCIMENTO, 2011).

No Brasil Lombardo (1985) emprega tanto o sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, como sensor AVHRR, a bordo do NOAA, que fora utilizado para desenvolver análise da dinâmica da ilha de calor de São Paulo, através do teste de algoritmos.

Além da possibilidade da utilização de satélites meteorológicos para análise da temperatura superficial, com o desenvolvimento de novas técnicas e novos sensores, tornou-se possível realizar análises através de satélites e sensores com uma infinidade de bandas espectrais e com uma resolução espacial melhor, capaz de identificar e compreender o comportamento do clima de uma dada cidade, como é o caso dos sensores TM, ambos a bordo da série de satélites *Landsat*, aos quais foram empregados nesta pesquisa.

A missão Landsat, iniciou-se em 1972 com o lançamento do satélite por parte da NASA e pela U.S. Geological Survey (USGS), denominado *Earth Resources Technology Satellite (ERTS 1)*, após o seu lançamento, este, fora renomeado de Landsat, sendo destinados à exploração dos recursos da superfície terrestre (LIU, 2006; EMBRAPA, 2015).

Dentre os 8 satélites da missão Landsat lançados em órbitas, evidencia-se o Landsat 5 (utilizado neste estudo). O Landsat 5 (Quadro 6), começou a operar no ano de 1994 na órbita equatorial, a 705 km de altitude, estando a bordo os sensores: *Multispectral Scanner System* (MSS) e o *Thematic Mapper* (TM). O sensor MSS dispõe de quatro canais, dispostos nas regiões do visível e infravermelho próximo, uma resolução espacial de 80 m, temporalidade de 16 dias, e imageando uma área equivalente a 185 km e dispondo de uma resolução radiométrica de 8 bits. Quanto ao sensor TM, este manteve-se ativo até novembro de 2011, operando no intervalo de 28 anos. Este sensor opera em 7 bandas dispostas nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio. Possui resolução espacial de 30 metros para as demais bandas espectrais e 120 metros para banda 6. E assim como o MSS, apresenta resolução temporal de 16 dias, imageando 185 km e permanecendo com a resolução radiométrica de 8 bits (EMBRAPA, 2015; INPE, 2011; NASA, 2013)

Quadro 6 – Característica do satélite Landsat 5 e seus sensores

Características do Landsat 5			
Parâmetros orbitais			
Altitude	705 Km		
Inclinação em graus	98,2°		
Período em minutos	99 min.		
Horário de passagem pelo Equador	12 (GMT)		
Temporalidade	16 dias		
Características dos sensores do Landsat 5			
Sensores	Banda	Intervalo (μ)	Resolução
MSS	4	0,50 - 0,60	80
MSS	5	0,60 - 0,70	80
MSS	6	0,70 - 0,80	80
MSS	7	0,80 - 1,10	80
TM	1	0,45 - 52	30
TM	2	0,52 - 60	30
TM	3	63 - 69	30
TM	4	0,76 - 0,90	30
TM	5	1,55 - 1,75	30
TM	6	10,40 - 12,50	120
TM	7	2,08 - 2,35	30

Fonte: Embrapa, 2015. Elaboração da autora.

É a partir da aquisição desses produtos, sobretudo das imagens orbitais que surge a possibilidade de extração e identificação de informações contidas nestas, onde

posteriormente, são tratadas por meio de *softwares* especializados em análise, processamento e manipulação de imagens. Após a aplicação de técnicas de geoprocessamento voltadas a investigação desejada, o resultado geralmente implica na geração de outra imagem, tornando-se admissível a identificação de informações necessárias para o desenvolvimento de estudos. Pertinente ao clima urbano, Voogt & Oke (2003) asseguram que o advento do sensoriamento remoto termal, por satélites e plataformas em aeronaves, permitiu novas possibilidades de observações sobre as ilhas de calor urbano, bem como, a compreensão de suas causas e combinações com os arranjos urbanos.

3.2 Comportamento espectral dos alvos e a utilização do NDVI para o estudo das Temperaturas de Superfície terrestre-TST

A heterogeneidade visualizada numa imagem de satélite é em grande parte derivada da interação da energia eletromagnética com os objetos presentes na superfície e esta interação depende das propriedades físico-químicas e biológicas destes objetos, gerando um mosaico de informações de um dado recorte espacial e temporal.

Como resultado desta interação, a energia pode ocasionar três processos que irão depender da característica destes alvos, podendo ser absorvida, refletida e transmitida. A quantidade absorvida, refletida e transmitida, está sujeita a intensidade de radiação e relacionada com a faixa do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2011).

No caso do espaço urbano, o mesmo é formado pelo mosaico de superfícies naturais (solos e rochas, vegetação, superfícies líquidas, etc.) e artificiais (concreto, asfalto, telhados, etc.). De acordo com Jensen (2011) estas superfícies encontram-se dispostas nos mais variados equipamentos, sejam nas instalações residenciais, industriais ou comerciais. A resposta espectral dessas superfícies apresenta-se na imagem de satélite, e cada resposta é fruto do comportamento desse material com a radiação. Novo (2010) elucida a importância de considerar a variação temporal do comportamento espectral dos alvos, haja vista, que os alvos podem ter sua resposta alterada com o tempo, sendo produto de modificações externas ou de sua própria natureza. Além desta variável, é pertinente considerar a variação espacial do comportamento dos alvos, no que diz respeito ao espaço que o mesmo encontra-se inserido.

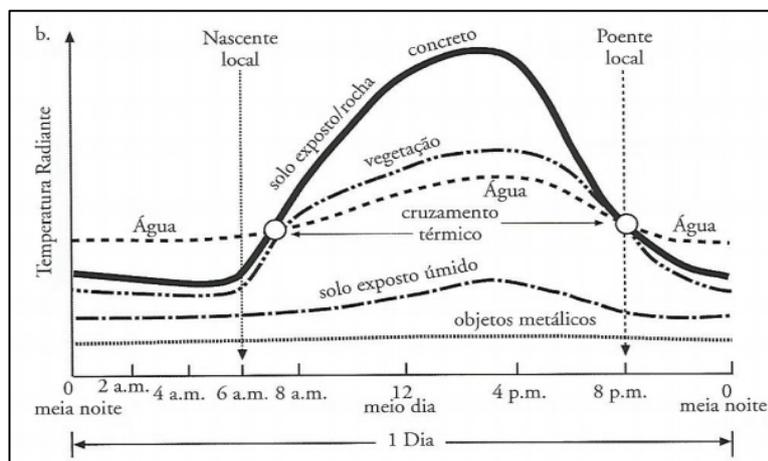
Na perspectiva térmica, Jensen (2011) aponta que ao analisar uma imagem infravermelha termal, é viável entender o comportamento o ciclo diário de temperatura

destas superfícies. É sabido que durante o dia, a superfície retém energia incidente de comprimentos de ondas curtos, refletindo a maior parte de volta para atmosfera, sendo possível utilizar os sensores para medir esta energia refletida, no entanto, parte desta energia é absorvida pelo terreno e posteriormente é irradiada para atmosfera como radiação de comprimentos de onda no infravermelho termal. Ao analisar o ciclo diário de 24 horas, o referido autor aponta que:

O pico de emissão de radiação de comprimento de onda longo tem um deslocamento de duas a quatro horas após o pico de meio-dia de incidência da radiação de onda curta, devido o tempo necessário para aquecer o solo [...] Ambas as radiações de onda curta incidente e emergente tornam-se zero depois do pôr do sol (exceto para a luz da lua e das estrelas), mas a radiação de onda longa continua emergindo do terreno durante toda noite (JENSEN, 2011, p. 276).

As oscilações concernentes às temperaturas das superfícies comumente encontradas no espaço urbano e rural são exemplificadas na figura a seguir:

Figura 9 – Temperatura aparente diária de algumas superfícies



Fonte: Jensen (2011).

Ao analisarmos a figura 9, percebemos que no ciclo de 24 horas, a água e o solo exposto úmido oscila pouco durante o dia, por conta de sua maior capacidade térmica em relação outras superfícies, como é o caso do solo exposto, rocha e concreto que durante o dia apresentam uma temperatura radiante significante. A vegetação apresenta-se mais quente que a água, solo exposto úmido e objetos metálicos, durante o dia e mais fria durante a noite.

Compreendendo genericamente como comportam-se os alvos frente a energia eletromagnética, é possível entender parcialmente as características de alguns materiais encontrados no espaço urbano e rural e sua influência na temperatura de superfície. A partir

das curvas espectrais encontradas em cada faixa do espectro eletromagnético, e especificamente na faixa do infravermelho termal, percebemos o quanto as propriedades que constituem as superfícies naturais e artificiais, são de certa forma determinante na temperatura encontrada numa dada cena.

Dentre estas superfícies, a vegetação, além de outras feições, podem ser mensuradas mais detalhadamente a partir das transformações radiométricas, descrita por Ponzoni et. al. (2012) como transformações através da característica espectral de grande parte dos dados de sensoriamento remoto, gerando novas imagens, e estas imagens trazem informações de diferentes configurações, realçando dados que não são visualizados nas imagens originais, a exemplo dos estudos da vegetação e a utilização de índices largamente utilizada.

Os índices de vegetação vêm sendo desenvolvido por parte dos cientistas desde os anos 60, com base na extração e modelos de parâmetros vegetacionais com o emprego de informações do sensoriamento remoto. Estes indicadores podem ser definidos como medidas radiométricas as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação ativa (JENSEN, 2011). Para Ponzoni (2010, p. 79) “esses índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação”.

Dos mais de 50 índices desenvolvidos pelos cientistas, alguns dos mais empregados na literatura são exibidos no quadro 7 a seguir:

Quadro 7 – Alguns exemplos de índices de vegetação

Índice	Equação
SR	IVP / V
NDVI	$IVP - V / IVP + V$
PVI	$(IVP - av - b) / 1^{1/2} + a^2$
SAVI	$(IVP - V) / (IVP + V + L) * (1 + L)$
ARVI	$(P_{nir} - Prb) / (P_{nir} + Prb)$
EVI	$EVI = G (NIR - Vermelho) / (L + NIR + C1 \text{ vermelho} - C2 \text{ azul})$

Fonte: Jensen (2011); Ponzoni (2010). Adaptado pela autora.

Entre os índices ora apresentados, realça-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalizad Difference Vegetation Index*) NDVI, empregado nesta pesquisa para identificar a relação da vegetação com as temperaturas mais amenas, e a influência da mesma para o comportamento de oscilação da temperatura, nos diferentes períodos analisados.

Este índice fora desenvolvido por Rouse et. al. (1973, *apud* PONZONI, 2012), no qual normalizou a razão simples para o intervalo de -1 a +1, propondo o NDVI, descrita pela equação abaixo:

Quadro 8 – Equação NDVI

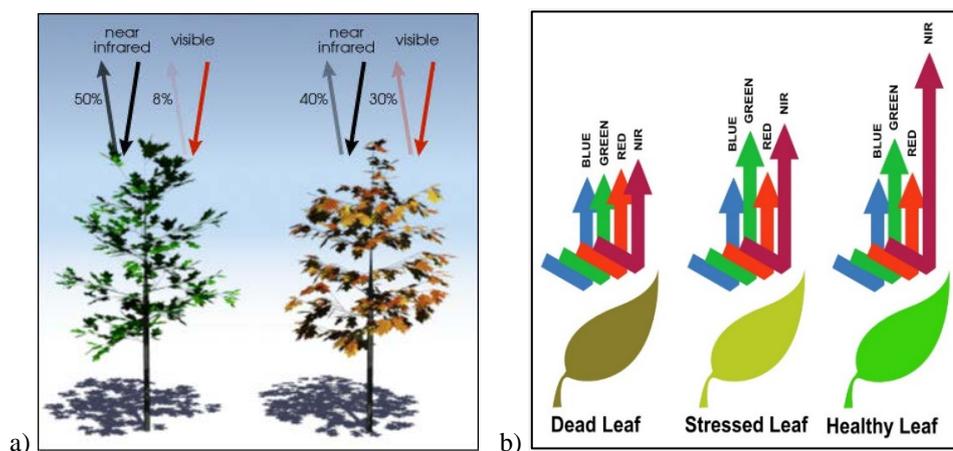
Equação	
Sendo:	$NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_v) / (\rho_{IVP} + \rho_v)$
ρ_{IVP}	FRB no infravermelho próximo
ρ_v	FRB no vermelho

Fonte: Ponzoni *et. al* (2012). Adaptado pela autora.

Este intervalo espacializa quantitativamente a vegetação sem folha, submetida a condição de estresse hídrico por déficit de água no solo e a vegetação com folhas, sem restrições hídricas e na plenitude de suas funções metabólicas e fisiológicas (INSA, 2014). Para Moreira (2011) o NDVI é o índice de vegetação mais empregado, na avaliação do vigor da cobertura vegetal.

Para determinar a densidade de verde em dado recorte espacial, observa-se as cores distintas (comprimentos de onda) da luz solar visível e infravermelho próximo refletida pela vegetação (Figura 10). O pigmento contido nas folhas das plantas, clorofila, absorve fortemente a luz visível (de 0,4 para 0,7 um) para uso na fotossíntese. A estrutura celular das folhas, em contrapartida, reflete a luz de infravermelho próximo (de 0,7 para 1.1 mm). Quanto mais folhas uma planta possui, mais estes comprimentos de onda de luz são afetados, respectivamente. O cálculo do NDVI para um dado pixel sempre resulta em um número que varia de -1 para 1 (EARTH OBSERVATORY, 2015). Dessa forma, combinando matematicamente esses dois sinais podem ajudar a diferenciar o que é vegetação do que não é vegetação, e vegetação saudável da vegetação estressada (AGRIBOTIX, 2014).

Figura 10 – a) Interação da luz visível e infravermelho próximo com vegetação sadia e estressada; b) interação da luz visível e infravermelho próximo com a folha morta, estressada e sadia



Fonte: a) Earth Observatory (2015); b) Agribotix (2014).

É com base nos elementos apresentados que compreendemos a importância do NDVI para estudo de temperatura de superfície, tendo em vista que esta análise possibilita relacionar as áreas que ocorre a presença de vegetação, sobretudo nas franjas urbanas, e as áreas caracterizadas pela menor ocorrência da mesma, como é o caso da área urbana da cidade, exceto as áreas verdes, parques e praças.

Esta técnica permite cruzar informações pertinentes (a presença e ausência do fator vegetação), delineando o comportamento da vegetação da área de estudo, em sua grande parte caatinga, nos respectivos períodos analisados, período chuvoso e período seco, tendo em vista, que a presença e ausência de umidade no solo e na vegetação, podem contrastar na oscilação da temperatura de superfície no município investigado.

3.3 Potencialidades e limitações referentes ao emprego do SR nos estudos de ilhas de calor

Sabe-se que o sensoriamento remoto, desde sua divulgação e disponibilização para uso civil, contemplou positivamente o desenvolvimento de estudos científicos a nível internacional e nacional e em diversas áreas do conhecimento, inclusive contribuindo significativamente nos estudos geográficos, onde nas últimas décadas, tem sido empregado para os estudos de clima urbano.

Para o desenvolvimento de qualquer investigação científica, é necessário distinguir quais os elementos se fazem importantes para desenvolvimento da mesma. O

geoprocessamento, bem como o sensoriamento remoto, encontra-se como um artifício que pode ser empregado disponibilizando infinitas possibilidades de aplicações, como as agregadas neste trabalho.

Dentre as potencialidades no uso desta tecnologia, destaca-se a análise espaço-temporal, extração de valores de temperatura de superfície, identificação dos diferentes usos do solo, mensuração dos índices de vegetação, estudo das influências das áreas construídas no clima urbano, além de apresentar-se como ferramenta alternativa para coleta de dados climáticos, na ausência de postos meteorológicos ou equipamentos. O emprego desta tecnologia proporciona uma análise investigativa de forma satisfatória, visto que, de acordo com a periodicidade das imagens de satélite e as informações nelas contidas, tal análise pode ser desenvolvida desde o ano 1984 para as imagens do satélite Landsat 5, em qualquer período do ano, em qualquer recorte espacial desejado.

Mendonça (1994) elucida as potencialidades no uso do sensoriamento remoto para o estudo do clima, ao colocar que:

A termografia infravermelha produzida a partir dos dados registrados pelos satélites - o recurso mais utilizado nos estudos de clima urbanos, permite a identificação de condições térmicas da superfície terrestre bastante próximas ao real [...] O resultado de estudos elaborados tanto utilizando dados levantados em estações fixas e móveis à 1,5 m da superfície quanto provenientes do tratamento de imagens de satélites, tem evidenciado claras diferenças entre ambientes atmosféricos urbanos de cidades tropicais e de latitude médias (MENDONÇA, 1994, p. 13).

Jensen (2011) descreve detalhadamente as vantagens e limitações do sensoriamento remoto. Concernente as vantagens, o referido autor aponta que o sensoriamento remoto fornece informações científicas, como informações biofísicas, localização, elevação ou profundidade, biomassa, temperatura, teor de água, entre outras informações, que podem ser utilizadas para nortear investigações científicas por outras ciências. “Porém, ao contrário do levantamento, os dados do sensoriamento remoto podem ser obtidos sistematicamente para áreas geográficas muito grandes ao invés de observações apenas pontuais” (JENSEN, 2010, p. 8)

No entanto, algumas dificuldades são encontradas na utilização do sensoriamento remoto para estudo das ilhas de calor. Dentre estes aspectos negativos, destaca-se a presença de nuvens, fato que influencia nas classes de temperaturas mínimas, resultando temperatura de superfície abaixo do esperado para área investigada, realidade esta, que pode ser visualizada no trabalho de Estevão e Zanella (2015). Florenzano (2011) explica esta

problemática dizendo que na trajetória da energia, esta atravessa a atmosfera, que interfere na energia final captada pelo sensor, e quanto mais distante o sensor estiver da superfície, maior será a interferência. A presença de nuvem nesse processo pode atuar na interceptação da energia captada pelo sensor e nesse caso o sensor registra apenas a energia proveniente da nuvem.

Quando trabalha-se com o clima urbano, à necessidade de aplicação de um critério condizente para análise deste elemento que sofre influência com o ambiente levando em consideração a realidade da área de estudo, tal como, a seleção de imagens de satélite do período seco e chuvoso. Quanto a seleção de imagens do período chuvoso, neste processo encontra-se grande dificuldade, devido a presença de nuvens, optando por cenas limpas, para não alterar informações térmicas.

Diante dos elementos supracitados, ainda ocorre à problemática de sensores descalibrados, resultando em dados problemáticos obtidos por tais sensores remotos. No caso dos sensores ativos, estes podem ser intrusivos e afetar o fenômeno investigado (JENSEN, 2011). Ou mesmo distorções nas imagens, que de alguma forma comprometem a extração e análise dos dados.

Apesar das limitações descritas, o sensoriamento remoto fornece satisfatoriamente dados na forma de imagens, gráficos e tabelas na perspectiva temporal, espacial e espectral da superfície terrestre, sendo aproveitada por pesquisadores da área física, biológica e social para as mais variadas finalidades, tornando-se um importante meio para alguns e ciência para outros.

4 MÉTODOS E TÉCNICAS APLICADOS PARA A ANÁLISE DO CLIMA URBANO

4.1 O processo Metodológico no Clima Urbano

O processo metodológico e técnico surge como elemento primordial para o desenvolvimento de qualquer investigação científica. Para alcançar os objetivos adotados nesta pesquisa, fora necessário delimitar quais os caminhos a serem percorridos. A figura 11 mostra a síntese metodológica da presente pesquisa.

A proposta teórica adotada para a investigação do clima urbano do município de Juazeiro do Norte considera as contribuições encaminhadas por Monteiro (1976), empenhado em elaborar uma matriz teórica capaz de dispor delineamentos sobre a investigação do comportamento climático das cidades, tendo como embasamento a Teoria Geral dos Sistemas (Bertalanffy, 1973) e a percepção sorreana de clima e tempo. Tendo em vista estes pressupostos, algumas adaptações sucederam-se, como o estudo do município por completo (cidade e rural), como artifício para análise das relações entre as diferentes superfícies, sua atuação e variações. Houve preferência no emprego do sensoriamento remoto (imagem de satélite) para aquisição de grande parte das informações correlacionadas nesta pesquisa, haja vista, é com base nesta tecnologia que se torna factível mensurar e especializar a chamada ilha de calor de superfície (*Surface Heat Island*), diferentemente dos métodos tradicionais, que tem como base o emprego de séries temporais, transectos fixos ou móveis, responsáveis por medir a temperatura do ar.

A seleção do município de Juazeiro como área de estudo contempla algumas questões, como o aspecto populacional e econômico representado pelo município no cenário cearense e local, a carência de estudo nesta temática nas cidades que fazem parte da RMC e a importância do conhecimento do fenômeno das ilhas de calor de superfície através do sensoriamento remoto e sua importância para a saúde pública das cidades.

Quanto ao aspecto populacional, nos últimos setenta anos Juazeiro do Norte passou por intenso processo de adensamento populacional, saindo de 38.145 habitantes nos anos de 1940 para 249.939 habitantes em 2010, sendo que 96% desse valor concentram-se no perímetro urbano. Esse crescimento exponencial representa uma elevação de 85% da população e confere a Juazeiro do Norte o posto de 3º município mais populoso do Ceará, possuindo 3% da população de todo o estado.

A nível local, Juazeiro do Norte está incluso na Região Metropolitana do Cariri-RMC a qual é composta por nove municípios (Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Missão

Velha, Caririaçu, Jardim, Santana do Cariri, Farias Brito e Nova Olinda), dentre estes, Juazeiro aparece como o município mais populoso da RMC e acumula um total de 45% da população desta.

No que remete a questões econômicas da RMC, Juazeiro do Norte é o município centralizador dos fluxos de entrada e saída de matéria prima e dos bens manufaturados, a exemplo do extenso polo calçadista que ali se encontra, dispondo 51% do PIB da RMC. Este crescimento econômico atuou na intensificação da urbanização, que como resultado materializa a implantação de mais estruturas residenciais ou comerciais (empregando coberturas tradicionais) e o aumento da impermeabilização (empregando pavimentos tradicionais), além da modificação dos espaços naturais, sem restabelecimento desta, colaborando para o aumento da temperatura de superfície.

A partir destes aspectos surge a necessidade do mapeamento das ilhas de calor de superfície, que são intensificados pelos elementos citados e passa a influenciar também na temperatura do ar da cidade e do município, estando diretamente ligadas a questão do bem-estar e da saúde pública, resultando no surgimento de doenças respiratórias, da pele, dentre outras.

O estudo da temperatura superficial terrestre (núcleos de calor) demanda o emprego do sensoriamento remoto como uma das possibilidades, tendo em vista sua capacidade multitemporal, permitindo a compreensão do surgimento, distribuição e variação espacial das ilhas de calor ao longo dos anos.

Para atender as demandas da pesquisa, os procedimentos operacionais encontram-se compartimentados em quatro etapas: revisão bibliográfica, levantamento cartográfico, processamento digital das imagens e análise e interpretação dos dados.

Figura 11 – Fluxograma básico



Fonte: Elaboração da autora.

4.2 Revisão Bibliográfica

Com o intuito de fornecer um aporte teórico para esta investigação, levantou-se trabalhos semelhante à temática desenvolvida, provendo subsídio conceitual, metodológico e técnico nas questões voltadas ao estudo do clima urbano, como também na utilização do geoprocessamento e sensoriamento remoto para análise das ilhas de calor. Para atender esta demanda, consultou-se e selecionou-se trabalhos inseridos nos bancos de teses e dissertações, livros publicados, periódicos online e *websites* de instituições.

Concomitantemente a esta etapa, desenvolveu-se a criação do banco de dados da área de estudo, incluindo todas as informações ambientais, como a dinâmica atmosférica regional e caracterização geocológica do sítio urbano e do município de Juazeiro do Norte, bem como elementos direcionados a dinâmica histórica, socioeconômica e evolutiva do uso e ocupação do solo. Dentre os órgãos públicos que dispõe de parte destas informações, enfatiza-se: a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME); Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC); Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Serviço Geológico do Brasil (CPRM); Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); Agência Nacional das Águas (ANA); Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE); Departamento Nacional de Infraestrutura de

Transportes (DNIT) e Secretaria de Infraestrutura do Ceará (SEINFRA).

4.3 Levantamento cartográfico

O levantamento cartográfico consiste na aquisição de bases cartográficas formadas por uma estrutura espacial de referência, disponibilizando a geração e gestão de informações espaciais. Dividiu-se o levantamento cartográfico em duas vertentes: dados espaciais armazenados nos modelos vetorial e matricial.

Os dados vetoriais apresentam-se na configuração de ponto, linha ou polígono e utiliza um sistema de coordenadas para sua representação (FITZ, 2008). Para estes dados empregou-se em grande parte a base de dados disponibilizada a partir de órgãos governamentais. Pertinente às algumas informações climáticas e geomorfológicas utilizaram-se dados vetoriais disponibilizados pela FUNCEME. Quanto aos limites territoriais, adotou-se a base de dados do IBGE, tendo como base o último censo demográfico de 2010, disponível no formato *shapefile*, sob o Sistema de Referência Espacial (Datum) Sirgas 2000 e o Sistema de Coordenadas Geográficas. As informações referentes às principais vias de acesso empregaram-se as inseridas no banco de dados do DNIT. Os dados geológicos e pedológicos compõem a base dados da CPRM, dispostos em três planos de informações, sendo: Classes de Litotipos, Classes de Solos e as Classes Geomorfológicas. A hidrografia (drenagens, lagos e lagoas, reservatórios mapeados) aplicou-se os dados vetoriais disponibilizados pela COGERH.

Os dados matriciais encontram-se dispostos numa estrutura de grade (*raster structure*), representado por uma matriz com um número de linhas e colunas, onde cada célula é denominada de *pixel* (FITZ, 2008). Os dados orbitais empregados para extração da temperatura de superfície foram os do satélite Landsat 5 e 8 dos anos de 1986, 1996 e 2010. A opção deste satélite relaciona-se com sua resolução espacial, ideal para o estudo desta finalidade. Outros satélites também disponibilizam dados no infravermelho (satélites meteorológicos), mas apesar da possibilidade do desenvolvimento desse estudo, apresenta baixa resolução espacial. Quanto a seleção das imagens, optou-se pela repartição da análise em dois períodos: chuvoso que ocorre nos meses de fevereiro a maio (Verão-Outono) e período seco que ocorre no segundo semestre do ano (Inverno-Primavera). Buscou-se cenas que não apresentassem nuvens, sendo estas, responsáveis por distorcer os dados de temperaturas, tornando-se incoerentes com o real (temperaturas a baixo do normal).

Além da extração da temperatura de superfície, empregou-se as imagens de satélite para realização dos índices de vegetação para os mesmos anos, 1986, 1996 e 2010 para análise do uso e ocupação do solo. No quadro 9 evidencia-se a distribuição do ano, dia e mês das imagens utilizadas:

Quadro 9 – Caracterização das imagens de satélite utilizadas

Ano	Satélite	Período	Data		Horário (GMT)		
			Dia	Mês	Hora	Minuto	Segundo
1986	Landsat 5	Chuvoso	20	Maio	12	12	8
		Seco	25	Setembro	12	7	51
1996	Landsat 5	Chuvoso	15	Maio	11	59	37
		Seco	20	Setembro	12	5	36
2010	Landsat 5	Chuvoso	20	Abril	12	38	28
		Seco	13	Outubro	12	37	34

Fonte: INPE. Elaboração da autora.

As imagens orbitais foram adquiridas através do catálogo de imagens do INPE, podendo ser acessada no *link* (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e por meio do U.S. Geological Survey (Serviço Geológico Americano), encontrando-se no seguinte *link* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

4.4 Processamento digital das imagens de satélite

No processamento digital das imagens de satélite encontram-se a extração de temperatura da superfície terrestre, o cálculo do índice de vegetação e análise do uso e ocupação do solo. Ressalta-se que estes processos foram desenvolvidos a partir das imagens do satélite Landsat 5, nos anos de 1986, 1996 e 2010 no período chuvoso e seco para mesmos anos, empregando bandas específicas para cada processo.

Para extração dos dados referentes à temperatura de superfície terrestre, empregou-se o *software* IDRISI versão Selva, programa este, voltado ao processamento digital de imagem. Este *software* realiza o processo de conversão dos dados das imagens de satélites através do módulo *thermal*, responsável por transformar níveis de cinza em temperatura de superfície.

É válido destacar que, este programa trabalha com um tipo de formato específico, sendo necessário importar a cena na qual pretende-se trabalhar e convertê-la. Com a imagem convertida de *Tiff* para Idrisi, será realizado a rotina responsável por transformar os números digitais das imagens do infravermelho distante em temperatura superficial. Esta ferramenta é

denominada módulo *THERMAL*, empregando funções de calibração e o método nomeado lei inversa de Planck.

Neste processo seleciona-se a imagem transformada para conversão, sendo necessário selecionar o satélite utilizado (Landsat 5) e nomear a unidade de temperatura que será calculado (°C). Ainda nesta é dado a possibilidade de introduzir valores de emissividade para correção, não sendo o caso nesse estudo. Por fim, gera-se uma imagem com informações de temperatura derivada do satélite Landsat, banda 6. Para exportar e em seguida trabalhá-la no *software* ArcGis, é preciso realizar a transformação de *TIFF* para *Idrisi to Tiff*, sendo necessária a conversão novamente.

No *software* ArcGis versão 10.2 emprega-se a imagem gerada no Idrisi, selecionando a paleta de cores que se identifica com o fenômeno (ilhas de calor). Nesse caso, como tratou-se de temperatura de superfície, optou-se pelas cores que oscilam entre o azul (cores frias) para o vermelho (cores quentes).

Para a estimativa do índice de vegetação optou-se pelo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Na literatura, este índice encontra-se como um dos mais apropriados para vegetação do semiárido, elemento este que influenciou a escolha de trabalho com este indicador, tendo em vista que o recorte espacial localiza-se no semiárido. Para o cálculo do NDVI, empregou-se o *software* ArcGis, muito embora, existe a possibilidade deste cálculo em outros programas de processamento digital de imagens.

Antes de iniciar o processo desejado, é preciso inserir no ArcMap as bandas 3 e 4 do sensor TM da cena utilizada e na ferramenta *raster calculator*, insere-se a fórmula (Quadro 10) responsável pelo cálculo do NDVI. Em seguida será gerado um raster com os valores do *pixel* variando no intervalo de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior a presença de vegetação, e quando mais próximo de -1, menor a quantidade de vegetação.

Quadro 10 – Fórmula NDVI

Fórmula NDVI
Float(banda 3–banda 4)/Float(banda 3+banda 4)

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise do uso e ocupação do solo empregou-se o método de classificação manual no *software* ArcGis 10.2 tendo como base o Manual Técnico do Uso da Terra, disponibilizado pelo IBGE. Para chave de interpretação gerou-se as seguintes classes: área densamente urbanizada, área de baixa densidade urbanizada ou rural, solo exposto,

superfícies líquidas, vegetação densa e vegetação menos densa. Com base nos elementos pertinentes para análise do uso e ocupação do solo, traçou-se polígonos ao longo da imagem.

4.5 Espacialização de dados hidroclimáticos

Quanto à espacialização dos dados referente à precipitação, esta etapa fora realizada a partir das informações dos postos pluviométricos da FUNCEME distribuídos no estado do Ceará e no caso do município de Juazeiro do Norte, há quatro (4), sendo denominados: Aeroporto, Juazeiro do Norte, Sítio novo-Vila Padre Cícero, Vila São Gonçalo-Marrocos.

Dos quatro postos pluviométricos utilizou-se apenas o posto Juazeiro do Norte (1981-2010), para representar os dados referentes a totais anuais, valores de quadra chuvosa, temperatura média e precipitação média, muito embora, os postos restantes, também foram analisados e encontram-se como apêndices.

Para a classificação do regime pluviométrico utilizou-se a metodologia estatística do *Box Plot* desenvolvida por Vieira (1999) que fornece a partir dos totais mensais de chuva os intervalos máximos, médios e mínimos. Esta metodologia tem como base alguns conceitos necessários para o desenvolvimento e interpretação deste método, sendo: valor máximo (maior valor pluviométrico da série), valor mínimo (menor valor pluviométrico da série) e a mediana (valor padrão) e os quartis (valores habituais). Para projetar o *box plot* inicialmente elege-se a base de dados empregada, neste caso o município de Juazeiro, que compreende 30 anos correspondendo de 1981-2010. Seguidamente os valores de precipitação são distribuídos de forma crescente, onde delimita-se a mediana e os quartis, sendo o primeiro (1º) e terceiro (3º) quartil os valores habituais (normais). O próximo passo destina-se a delimitação do *range*, responsável por classificar os valores menos habituais e por fim demarca-se os valores secos e chuvosos, onde os valores secos encontram-se no limite do primeiro (1º) quartil e o início do range negativo e os valores chuvosos estão entre o limite do terceiro (3º) quartil e o início do range positivo (GALVANI, 2005).

Os dados de temperatura foram obtidos no software Celina, que de acordo com Magalhães (2008) tem como base as regiões climáticas do Ceará, empregando o método estatístico regressão linear múltipla. A partir da inserção de dados referentes aos postos pluviométricos como latitude, longitude e altitude o software estima a média mensal da temperatura do ar, podendo ser representado espacialmente no município.

5 CARACTERIZAÇÃO GEOECOLÓGICA DO SÍTIO URBANO E DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE

5.1 Condições Hidroclimáticas

Juazeiro acha-se inserido ao sul do estado do Ceará, e por conta de sua baixa latitude aproximando-se dos 7°13'52.31"S em relação à linha do Equador, oportuniza uma incidência elevada de radiação solar, refletindo nas altas temperaturas. De acordo com Zanella (2007) ainda que essas temperaturas elevadas se encontrem em todo estado do Ceará, sobrepõe-se a influência dos fatores locais interferindo nos contrastes térmicos, como é o caso do fator altitude, formas do relevo e a influência ou não da maritimidade, e no caso da sazonalidade da precipitação, esta tem uma relação interligada com os sistemas atuantes para região.

A relação dessas características e a atribuição de pesos aos elementos climáticos vêm a definir o clima de uma dada região. Para Funceme (2006) esta localidade apresenta o Clima tropical quente semiárido e o clima tropical quente semiárido brando. Sales, Oliveira e Dantas (2010) responsáveis por apresentar a classificação climática de Thornthwaite e Mather aplicada ao estado do Ceará utilizando o Índice Efetivo de Umidade-Im classifica Juazeiro como Semiárido e Seco Subúmido.

Quanto às temperaturas para a localidade, estas permeiam entre 23°C a 27°C, onde o período referente aos meses de maio a agosto dispõe de condições térmicas mais amenas, variando entre 21°C a 25°C (FUNCEME, 2006). Estas diferenciações térmicas como destacadas podem sofrer modificações resultado dos fatores locais, como a condição de altitude, representado pela Colina do Horto com aproximadamente 587 metros.

Dentre os sistemas atmosféricos responsáveis pela incidência de precipitações no estado, bem como na região do cariri, destaca-as a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é avaliada como um importante agente causador de precipitações (FERREIRA E MELO, p. 5, 2005). Embora a ZCIT seja um mecanismo importante, outros sistemas atuam neste município, tais como: Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM), Linhas de Instabilidade (LI), Ondas de Leste (OL) e Brisas Continentais¹ locais. No período seco, correspondente principalmente aos meses de inverno-primavera, (junho a novembro), o município fica sob a influência do Anticiclone do Atlântico Sul, responsável pela estabilidade atmosférica.

Na região, as chuvas iniciam-se no mês de dezembro, denominadas chuvas de pré-

¹ Brisa de chapada, exercida pela presença da Chapada do Araripe, localizada no município do Crato.

estação e que são influenciadas pela proximidade de frentes frias, que se posicionam sobre a Bahia, sul do Maranhão e Piauí. Em seguida, as precipitações efetivam-se entre os meses seguintes pela atuação de outros sistemas atmosféricos, como a ZCIT (FUNCEME, 2006). Convém salientar, que alguns fatores favorecem ou não a ocorrência de precipitação no nordeste de modo geral e em Juazeiro, e esta condição se dá pelas anomalias no Pacífico e Atlântico, como o El niño/La niña e Dipolo positivo ou negativo.

Em termos gerais, a área em análise encontra-se na esfera do semiárido, no qual, como aponta Zanella (2007) dispõe de um arranjo marcado por um período chuvoso breve e irregular e um extenso período seco. Ainda referente à precipitação pluviométrica, Nímer (1979) aponta que a área apresenta índices padrões ou os mais frequentes, expondo o intervalo de 700 a 900 mm anuais, na qual, as chuvas se concentram, na maioria das vezes, de meados do verão a meados de outono, concentrando-se nos meses de março, fevereiro e abril.

5.2 Análise da distribuição pluviométrica

Na medida em que delimitou-se a escala temporal de análise das ilhas de calor através de imagens de satélite, procurou-se identificar a tipologia climática para a série histórica de 30 anos (1981 a 2010) com base nos dados fornecidos pelo posto pluviométrico Juazeiro do Norte, localizado na figura 11. Com esta análise quantitativa, fora possível compreender o comportamento pluviométrico e sua influência para área, relacionando assim com os dados de temperatura de superfície encontrados.

Nos trinta anos empregados para o desenvolvimento da definição da tipologia climática, visualizada no Quadro 11, o ano de 1985 e 2004 enquadraram-se como os anos de precipitação mais elevados para o município, apresentando o valor de 1660,3 milímetros para 1985 e 1544 milímetros para 2004, qualificando-os como muito chuvosos para série em questão. Entre o *outlier* e o terceiro quartil, definem-se os anos considerados chuvosos, demarcando o intervalo entre 1399 milímetros para o ano de 2008 e 1188,8 milímetros para o ano de 1986. No intervalo do terceiro quartil ao primeiro quartil, englobam-se os anos considerados habituais para a série histórica de 30 anos (1981-2010). No espaçamento entre o terceiro e primeiro quartil, acha-se o segundo quartil, também nomeado de mediana, equivalente ao milímetro habitual da série, como sendo 937 mm. O intervalo que condiz com o primeiro quartil e o segundo *outlier* corresponde aos anos qualificados como secos,

oscilando entre 783,7 milímetros para o ano de 1990 e 590,5 para 1981. Para os anos extremamente secos, estes, enquadram-se ao último *outlier*, equivalente ao ano de 1983 com 571,4 mm e 1993 com 564,4 mm.

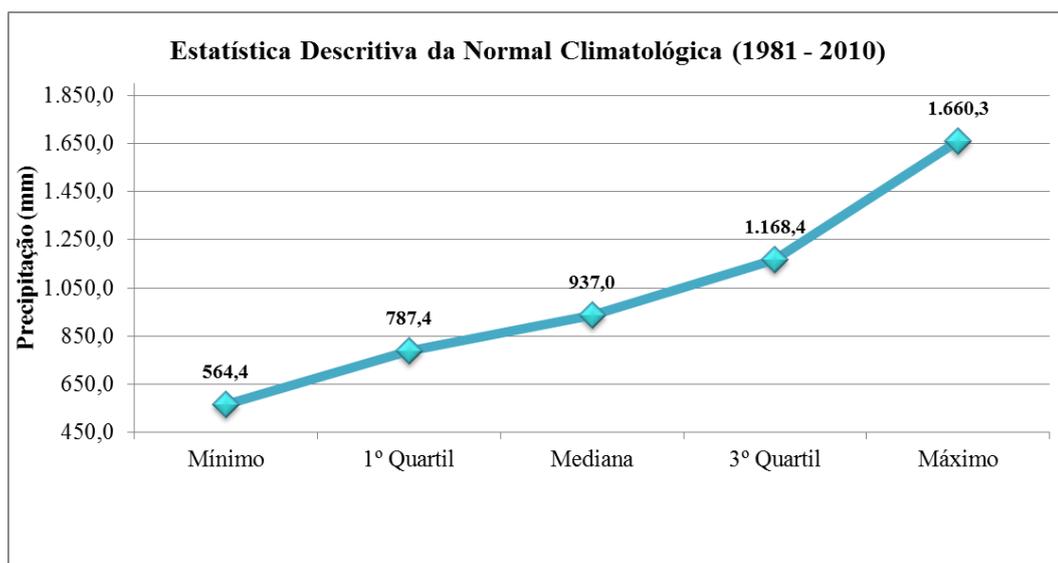
Quadro 11 – Exposição da tipologia climática através da técnica de *Box plot* numa série (1981-2010)

Ano	Precipitação	Classificação Galvani, E. Luchiari, A. (2004)	
1985	1660,3	<i>Outlier</i>	Muito Chuvoso
2004	1544	<i>Outlier</i>	
2008	1399	<i>V(Max)</i>	Chuvoso
2003	1300,8		
2002	1230,5		
1989	1227,6		
1986	1188,8		
1168,4		3Q	
1995	1148		Habitual
2009	1111		
1996	1009,8		
1991	1001,6		
1992	989,3		
1999	984,5		
1984	953		
2000	943		
Mediana	937	2Q	
2001	932,5		
2006	890,5		
1994	865,9		
1988	827,9		
1987	821,5		
2005	812		
2010	793,5		
2007	791		
787,35		1Q	
1990	783,7		Seco
1998	740,1		
1997	637,6		
1982	610,5		
1981	590,5	<i>V(Min)</i>	
1983	571,4	<i>Outlier</i>	Muito Seco
1993	564,4	<i>Outlier</i>	

Fonte: Posto pluviométrico Juazeiro do Norte. Elaboração: Autora.

A variação interquartil, dos valores anuais, da série analisada, na compartimentação muito seco, seco, habitual, chuvoso e muito chuvoso é representada pelo gráfico que descreve a amplitude interquartil (Gráfico 1).

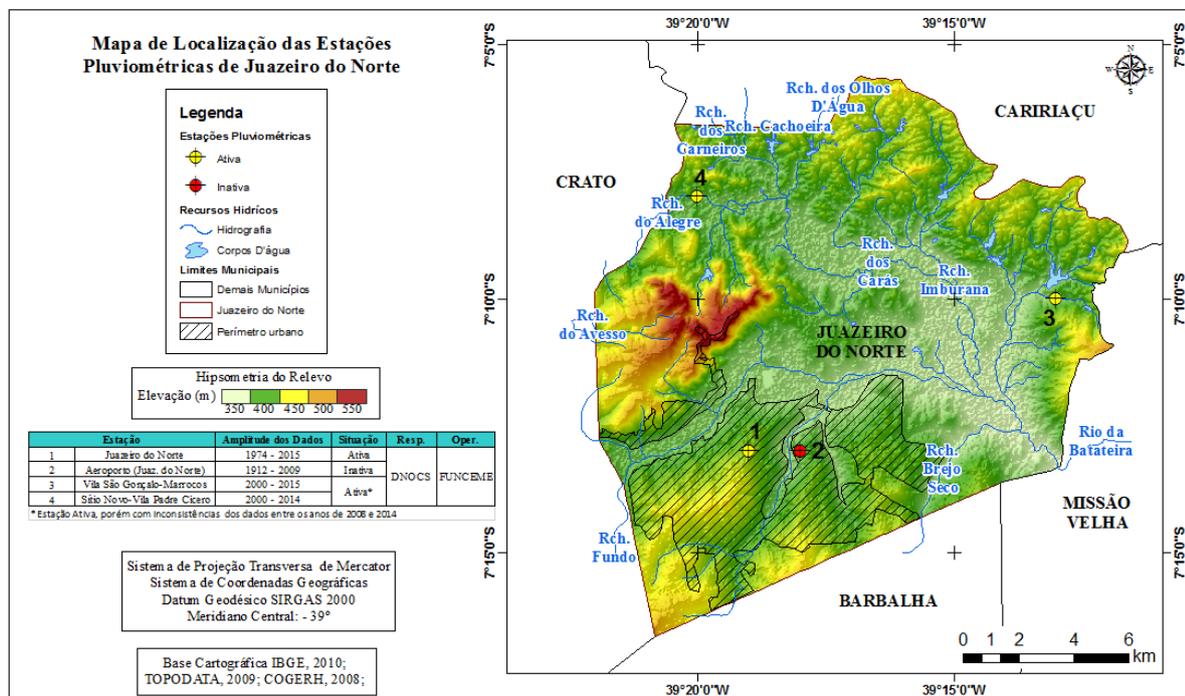
Gráfico 1–Distribuição interquartil da série (1981-2010)



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

No município há instalado quatro postos pluviométricos, e as informações de precipitação, bem como de temperatura foram extraídas a partir da série de dados do posto pluviométrico Juazeiro do Norte. (Figura 12)

Figura 12 – Localização dos postos pluviométricos

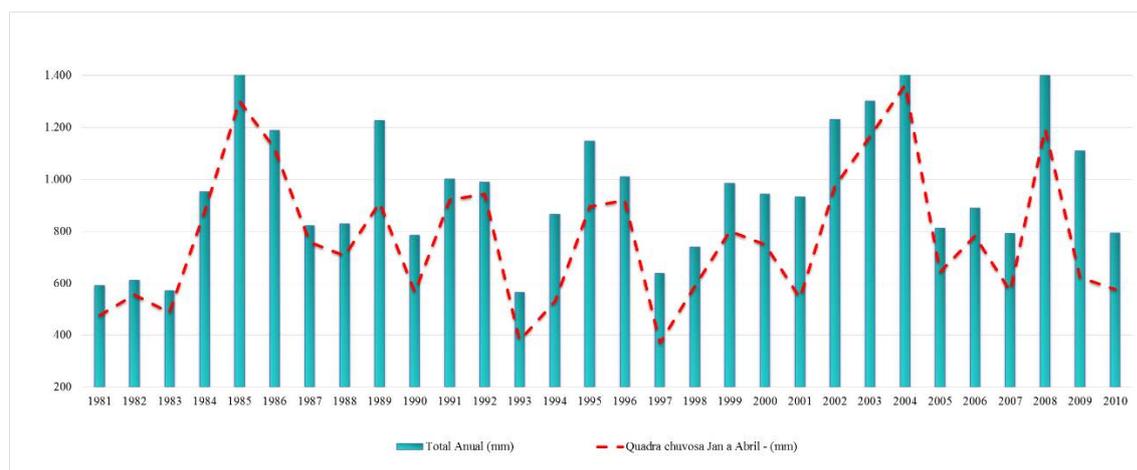


Fonte: Elaboração da autora.

A distribuição pluviométrica do posto Juazeiro do Norte (1981-2010) apresenta

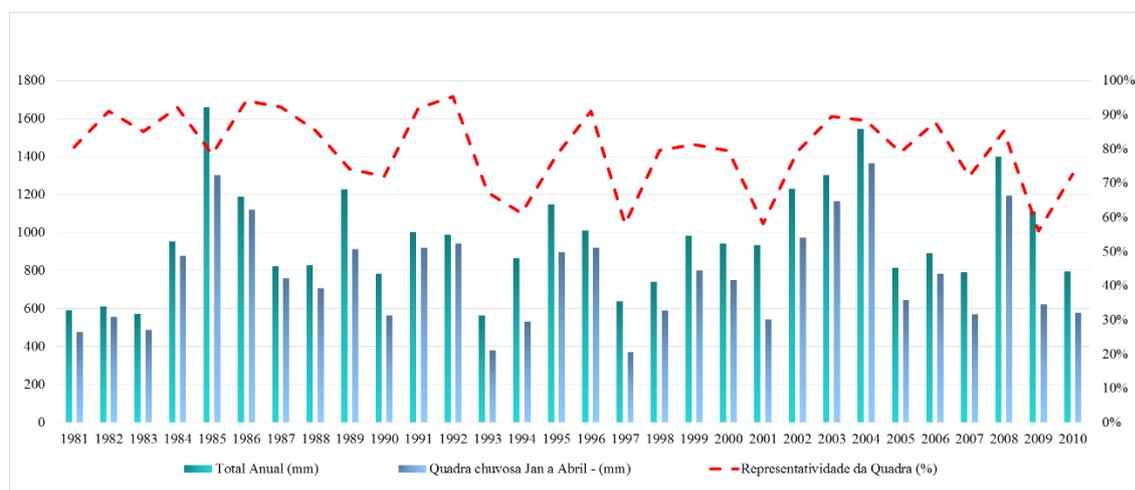
valores de totais anuais de 1660 mm em 1985 e reduzem-se a 571 mm em 1983. A média pluviométrica para este posto encontra-se nos 964, 14 mm e a média da quadra chuvosa (janeiro a abril) para mesma série apresenta 776,06 mm. Pertinente a representatividade da quadra chuvosa a mesma concentrou um percentual de 56% a 95% das precipitações totais anuais (Gráfico 2 e Gráfico 3).

Gráfico 2 – Distribuição Pluviométrica - Posto Vila São Gonçalo-Marrocos (2001 - 2009)



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Gráfico 3 – Representatividade percentual da média da quadra chuvosa – Posto Juazeiro do Norte (1981-2010)

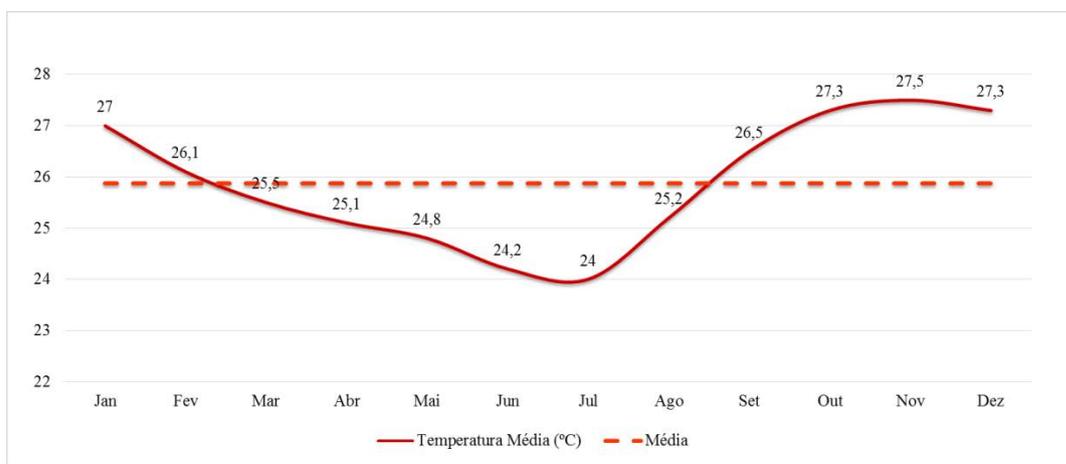


Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Quanto à temperatura para o mesmo posto esta apresenta uma média próxima aos 26 °C. As temperaturas acima da média encontram-se nos meses de janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro. Dentre os meses abaixo da média têm-se março, abril, maio, junho, julho e agosto, registrando uma queda de temperatura, sobretudo nos

meses de junho e julho, girando em torno dos 24 °C (Gráfico 4).

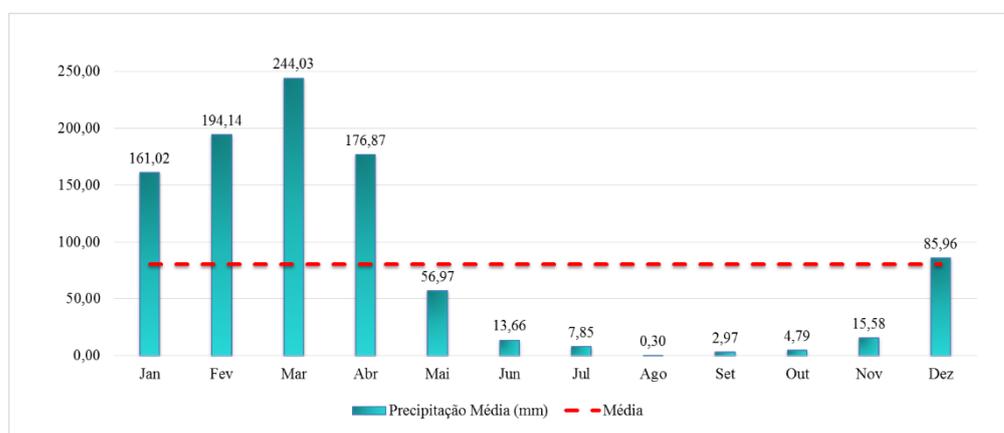
Gráfico 4 – Temperaturas Médias Mensais - Posto Juazeiro do Norte - (1981 - 2010)



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Os maiores valores das precipitações mensais (Gráfico 5) registram-se nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, correspondendo ao período chuvoso para esta localidade. Os valores que se distribuem abaixo da linha da média relacionam-se com os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, resultado da repercussão dos meses secos.

Gráfico 5 – Precipitações média mensais – Posto Juazeiro do Norte (1981-2010)

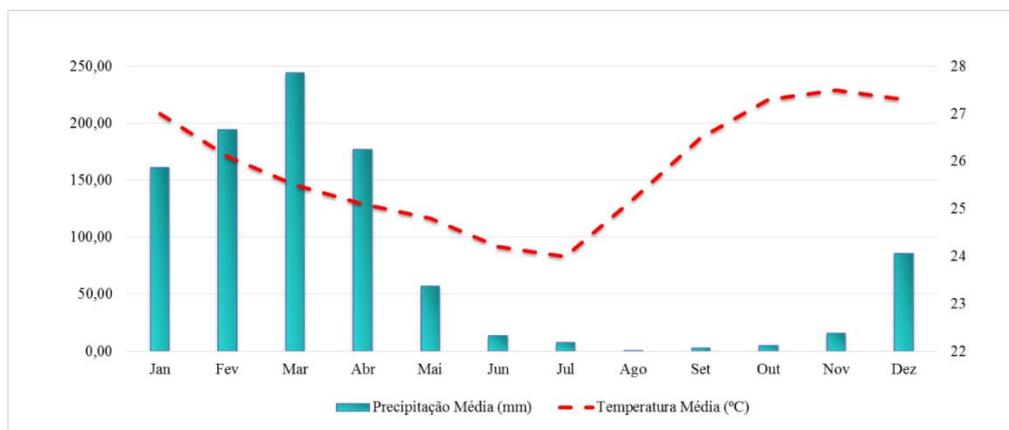


Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

Em relação da precipitação média e da temperatura média (Gráfico 6), os valores de temperatura mais elevados encontram-se no início do ano, tem uma redução nos meses de junho e julho e voltam-se a elevar-se no segundo semestre do ano, ou período seco, relacionando-se com os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro, resultado da repercussão dos meses secos, enquadrando-se no segundo semestre do ano. Quando a relação da precipitação, percebe-se que os valores mais altos de alto de chuva encontram-se

em dezembro e no início do ano e estende-se pelo período chuvoso, na média que entra no segundo semestre do ano, este índice diminui consideravelmente.

Gráfico 6 – Temperatura e precipitação média mensais - Posto Juazeiro do Norte (1981-2010)



Fonte: FUNCEME. Elaboração da autora.

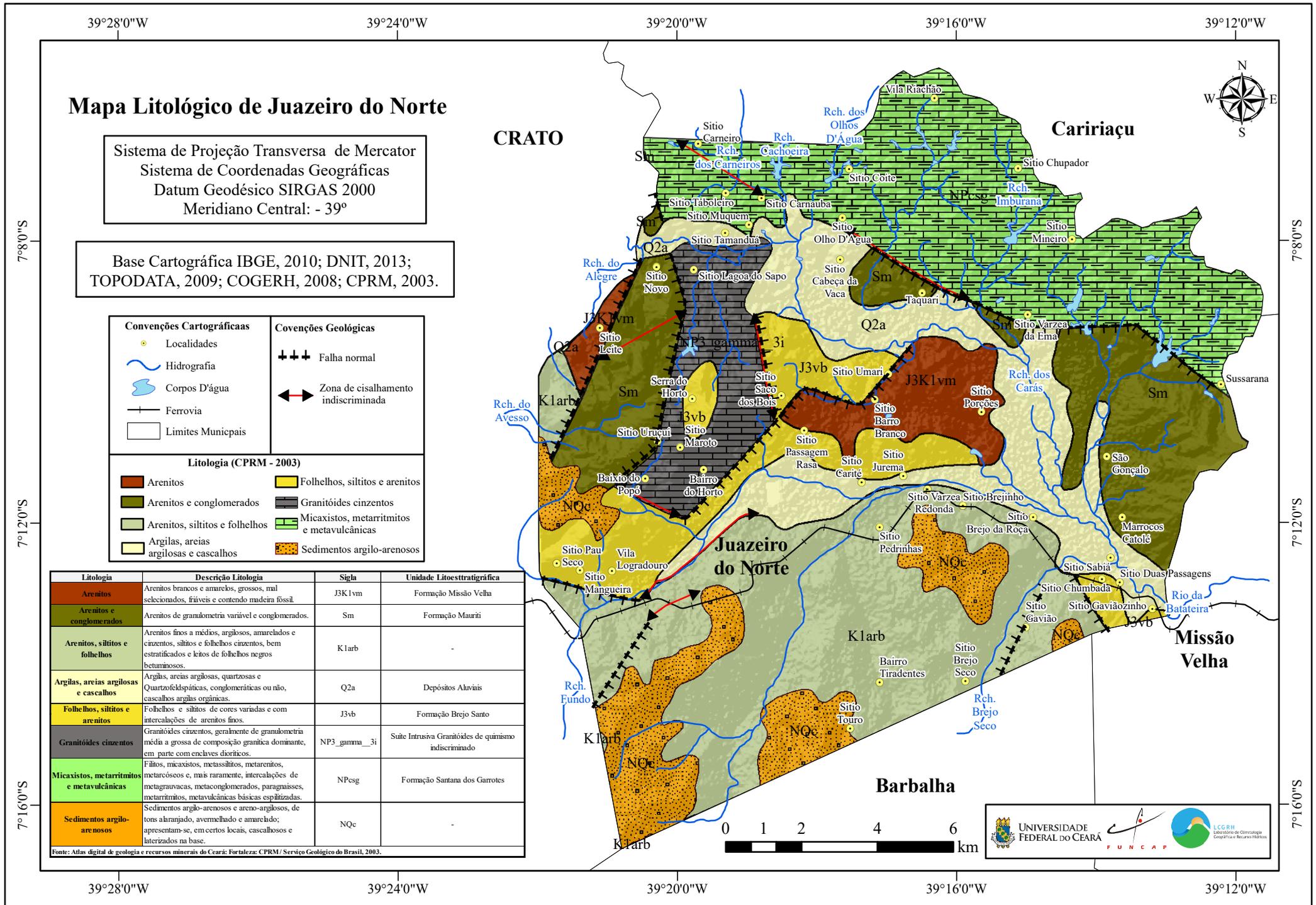
5.3 Aspectos geológicos, geomorfológicos e fitoecológicos

Para compreensão do restante das variáveis ambientais presentes no município de Juazeiro do Norte torna-se necessário um conhecimento e caracterização preliminar do arcabouço geológico local. Com base nos dados levantados pela CPRM (2003), no município de Juazeiro do Norte podem ser identificadas 8 litologias, como disposto no quadro 12 e no mapa 2.

Quadro 12 – Litologias presentes em Juazeiro do Norte

Litologia	Descrição Litologia	Sigla	Unidade Litoestratigráfica
Arenitos	Arenitos brancos e amarelos, grossos, mal selecionados, frágeis e contendo madeira fóssil.	J3K1vm	Formação Missão Velha
Arenitos e conglomerados	Arenitos de granulometria variável e conglomerados.	Sm	Formação Mauriti
Arenitos, siltitos e folhelhos	Arenitos finos a médios, argilosos, amarelados e cinzentos, siltitos e folhelhos cinzentos, bem estratificados e leitos de folhelhos negros betuminosos.	K1arb	-
Argilas, areias argilosas e cascalhos	Argilas, areias argilosas, quartzosas e Quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos argilas orgânicas.	Q2a	Depósitos Aluviais
Folhelhos, siltitos e arenitos	Folhelhos e siltitos de cores variadas e com intercalações de arenitos finos.	J3vb	Formação Brejo Santo
Granitóides cinzentos	Granitóides cinzentos, geralmente de granulometria média a grossa de composição granítica dominante, em parte com enclaves dioríticos.	NP3_gamma_3i	Suíte Intrusiva Granitóides de quimismo indiscriminado
Micaxistos, metarrinitos e metavulcânicas	Filitos, micaxistos, metassiltitos, metarenitos, metarcóseos e, mais raramente, intercalações de metagrauvas, metaconglomerados, paragneisses, metarrinitos, metavulcânicas básicas espilitizadas.	NPcsg	Formação Santana dos Garrotes
Sedimentos argilo-arenosos	Sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tons alaranjado, avermelhado e amarelado; apresentam-se, em certos locais, cascalhosos e laterizados na base.	NQc	-

Fonte: Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará.



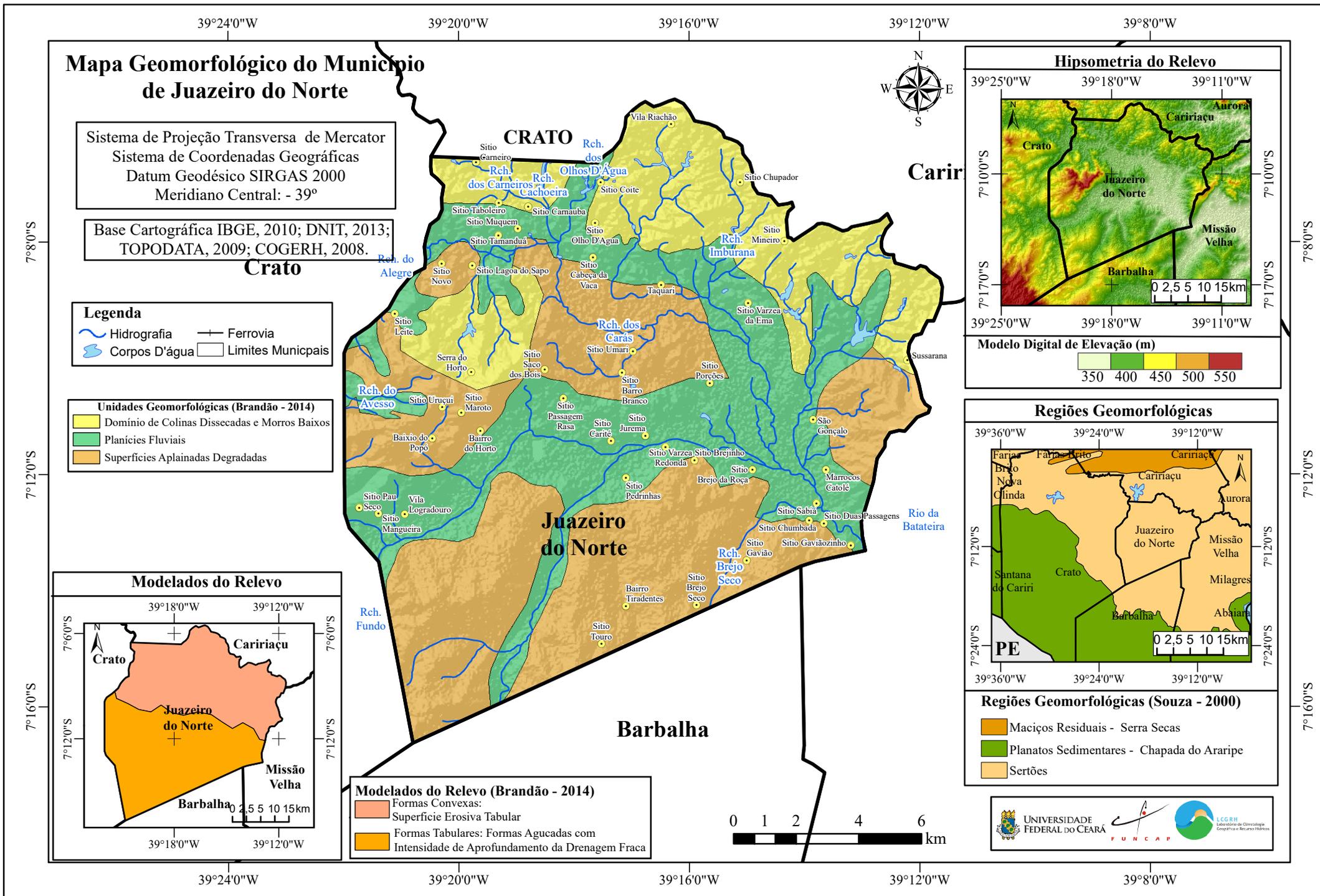
Pertencente ao mapeamento geomorfológico da área de estudo (Mapa 3), este fora seccionado em três níveis hierárquicos da classificação do relevo, sendo: as regiões geomorfológicas, as unidades geomorfológicas e os modelados do relevo.

De acordo com o Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) as regiões geomorfológicas representam compartimentações inclusas nos conjuntos litomorfoestruturais com características genéticas comuns por conta da ação dos fatores climáticos passados e atuais. Nestas condições, o município do Juazeiro apresenta em sua área total a região geomorfológica sertões, classificada com base em Souza (2000) como macro-compartimentos submetidos a condições climáticas semiáridas secos ou subúmidos, com densa rede de drenagem e rios sazonais, superfícies pediplanadas escalonadas com solos rasos e recoberto por caatinga.

Quanto às unidades geomorfológicas, definidas como um conjunto de formas altimétricas e fisionomicamente semelhantes em seus deferentes tipos de modelados, explicados por condições paleoclimáticas e condicionantes litológicos e estruturais (MTG/IBGE). Na área de estudo encontram-se três unidades geomorfológicas, sendo: os domínios de colinas dissecadas e morros baixos, planícies fluviais e superfícies aplainadas degradadas. Os domínios de colinas dissecadas e morros baixos apresentam-se nos setores norte e noroeste do município.

Já as planícies fluviais caracterizadas por formas de relevo planas que permeiam as drenagens possuindo elevado processo de sedimentação, encontram-se enclausuradas nos canais que cortam o município. Quanto às superfícies aplainadas degradadas acham-se nos setores leste, sul, sudeste e oeste do município, compondo áreas planas com alto índice de degradação.

Por fim, têm-se os modelados dos relevos abrangendo um padrão de formas geométricas em função da sua gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, onde as feições do topo do relevo são classificadas como: convexas, tabulares e aguçadas (MTG/IBGE). No mapeamento foram detectados dois modelados do relevo, as formas convexas que compreende as superfícies erosivas tabulares encontradas no setor norte do município e as formas tabulares, compreendendo as formas tabulares aguçadas com intensidade de aprofundamento da drenagem fraca, encontradas no setor sul do município.



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

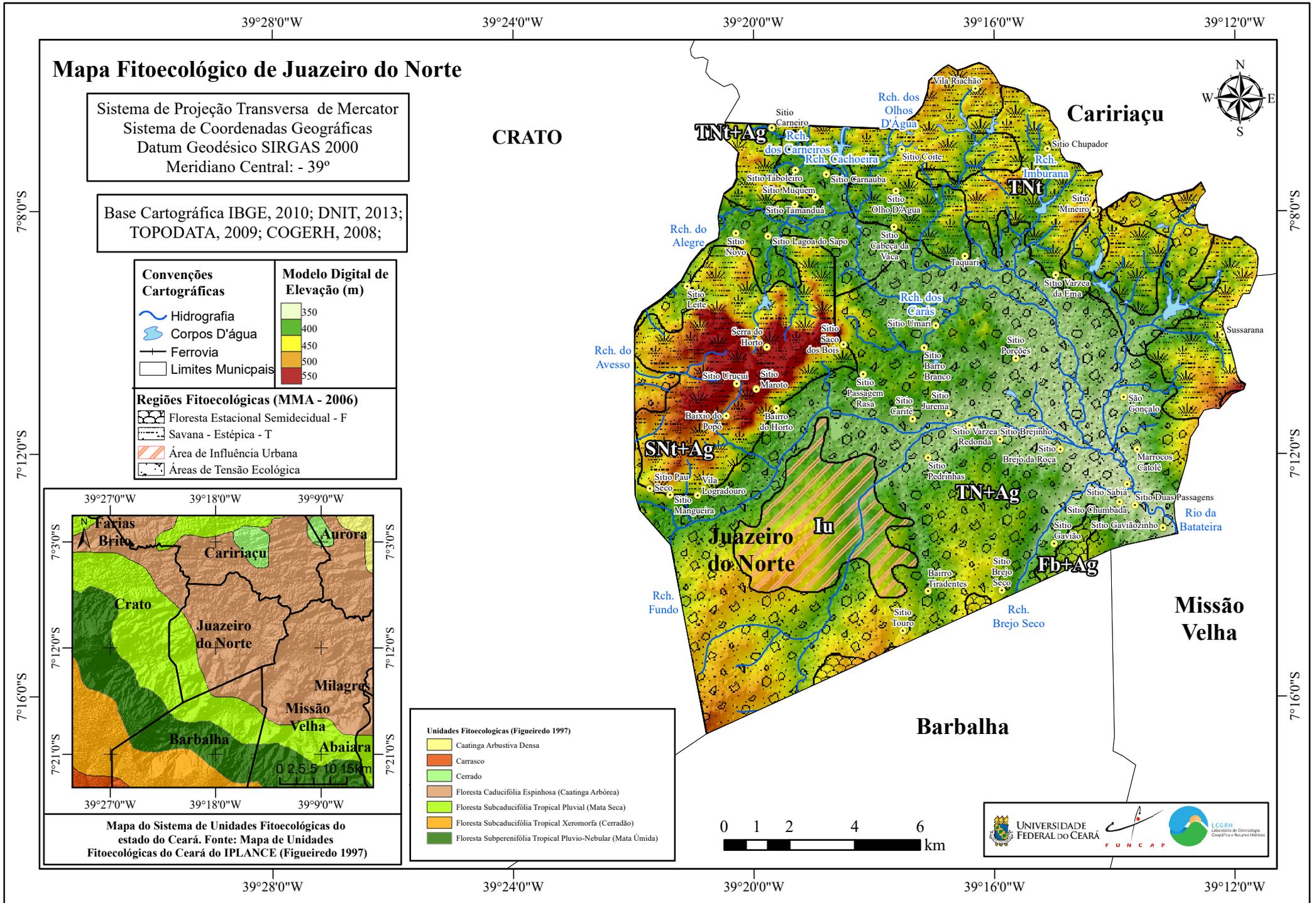
Referente aos aspectos fitoecológicos, Figueiredo (1997) expõe que o recorte espacial exhibe duas unidades, a Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arbórea) e Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Mata Seca). A primeira representando um percentual maior de área, preenchendo o setor sul do município enquanto a segunda representa o setor norte.

De maneira mais detalhada, podem ser identificadas 3 regiões fitoecológicas: Floresta Estacional Semidecidual-F, Savana – Estépica-T e Áreas de Tensão Ecológica (MMA, 2006). Sendo descritos nos quadro 13 e mapa 4).

Quadro 13 – Regiões fitoecológicas

Regiões Fitoecológicas					
Região	Classes de Formações	OBS	Código	Área (Km²)	Área (%)
Savana - Estépica - T	Savana e Floresta Estacional	Ecótono com Presença de Agropecuária	SNt + Ag	30,91	12,4%
	Savana Estépica e Floresta Estacional		TNt + Ag	23,35	9,4%
	Savana Estépica e Floresta Estacional	Ecótono	TNt	27,16	10,9%
Áreas de Tensão Ecológica	TN - Savana-Estépica/Floresta Estacional	Presença de Agropecuária(Ag)	TN + Ag	148,64	59,7%
Floresta Estacional Semidecidual - F	Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas	Presença de Agropecuária(Ag)	Fb + Ag	2,77	1,1%
Área Antrópica	Influência Urbana	-	Iu	16,18	6,5%
Total				249	100,0%

Fonte: MMA, 2006. Elaboração da autora.



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

6 DINÂMICA HISTÓRICA, SOCIOECONÔMICA E EXPANSÃO URBANA DE JUAZEIRO DO NORTE

6.1 Da nação dos Kariris ao município Juazeiro do Norte

A formação da cidade que hoje reconhecemos por Juazeiro do Norte tem suas origens datadas no início do século XIX, em uma época em que esta não apresentava autonomia política e tampouco carregava o nome no qual a conhecemos atualmente. Para compreender os caminhos que induziram o surgimento desta urbe com características singulares, fazemos um breve histórico do recorte territorial que conglomerava as cidades do sul do estado do Ceará denominada Região do Cariri ou Cariri.

O povoamento inicial do Ceará, bem como da Região do Cariri se constitui em grande parte com base nos relatos de pacificação dos índios por missionários e da luta destes com proprietários locais (BARROS, 2008). Em relação a esta região, a mesma tem no seu vocábulo a denominação intrinsecamente ligado aos habitantes primitivos, os índios cariris (PINEIRO, 2009).

Quando menciona-se os índios Kariris, reporta-se aos sertões do nordeste brasileiro, pois fora neste território que sesmeiros, bandeirantes e colonos os encontraram, sendo aldeado em missões religiosas ou capturados e levados para a área litorânea (GONÇALVES, 2006). Ainda de acordo com Gonçalves (2006) a nação dos kariris localizavam-se onde hoje compreende os cariris velhos (cariri paraibano), o sertão de Pernambuco e áreas adjacentes ao São Francisco e os cariris novos (cariri cearense).

Para Gonçalves, (2006, p. 98) “a partir da tentativa de transformar os índios em mão-de-obra escrava tem início o processo de desaparecimento/metamorfoseamento do índio em caboclo e a apropriação da terra que habitavam pela coroa de Portugal, através dos sesmeiros e seus descendentes”, o referido autor continua colocando que:

Na perspectiva do projeto ocidental o Homem Kariri deixa de existir, é dado como extinto, desaparecido, exterminado. E, a partir disso, é construído simbolicamente o lugar do Cariri civilizado, a partir de uma vaga e confusa referência aos ancestrais habitantes deste vasto território contíguo existente no Sertão Nordeste (GONÇALVES, p. 98, 2006)

O vale do cariri cearense é marcado por elementos que o caracterizam desde os tempos pretéritos. Pertinente à natureza, esta fora associada a um “oásis” em meio ao sertão, por dispor de uma diversidade paisagística relevante, descrita em distintos relatos,

onde repetidamente destacam-se as “terras férteis, as fontes perenes e aquíferos abundantes”, influenciados, sobretudo pela estrutura da Bacia Sedimentar do Araripe e da própria Chapada do Araripe.

O componente natural fora rotineiramente retratado por naturalistas e intelectuais, como os descritos por Cunha (2012) destacando o naturalista português João da Silva Feijó associado a coroa de Portugal e chegando ao Crato em 1800, o estudioso escocês George Gardner, interessado em estudos geológicos e botânicos no período de 1838 e 1839 e o prestigiado estudioso Francisco Freire Alemão, chegando a região no final de 1859 e interessado nas questões relacionadas a botânica da área.

Estes elementos naturais frequentemente enaltecidos, de certo modo atraíram emigrantes de áreas adjacentes assoladas pelas secas. Deste modo Reis (2012) elucida que “a representação de um território como espaço privilegiado no interior do Ceará [...] foi um importante instrumento político, utilizado pelas classes senhoriais, na consolidação de seu domínio sobre o território”.

É inserida nesta região que encontravam-se as porções de terras que hoje compreende o município de Juazeiro do Norte, que em tempos passados fazia parte do município do Crato, onde inicialmente fora um ponto de aldeamento indígena denominado Missão do Miranda.

As origens do surgimento de Juazeiro encontram-se de certo modo divergentes, tendo em vista, que alguns estudiosos a relacionam com a fazenda Tabuleiro Grande, como é o caso dos escritos de Oliveira (2001), na qual coloca que dentre os povoadores iniciais do futuro município de Juazeiro, dar-se destaque aos primeiros donos do chamado Engenho Moquém, situado nas cercanias do Crato, passado seguidamente aos seus descendentes, até chegar ao Brigadeiro Leandro Bezerra Monteiro, proprietário da fazenda “Tabuleiro Grande”. Ainda de acordo com a autora, a nomeação do município, remete-se ao um ponto da fazenda próximo ao rio Salgadinho, onde havia três grandes juazeiros que serviam de sombra para viajantes feiritas de outras imediações e dirigiam-se ao Crato.

Outra perspectiva relaciona-se a partir do sítio Juazeiro sob propriedade do Padre Pedro Ribeiro, neto do brigadeiro Leandro Bezerra Monteiro, como colocado por Macedo (1978) ao dizer que no sítio, de sua propriedade, o referido padre “construiu a casa-grande, de taipa e telha, engenho, aviamento e senzala”, onde posterior edificou-se uma capela dedicada a Nossa Senhora das Dores. Este ato representa para os historiadores o lançamento da pedra fundamental da capela de Nossa Senhora das Dores, efetivamente no dia 15 de

setembro de 1827, titulada nos dias de hoje como Basílica Menor e conhecida comumente pelos juazeirenses como Igreja Matriz.

Pertinente à segunda perspectiva de povoamento da localidade, a partir da Figura 13 produzida sob autoria de Otávio Aires de Menezes e publicada por Walker (2010), esta procura retratar espacialmente o sítio Joazeiro no ano de 1827, e sua constituição a partir das imediações do rio Salgadinho.

Figura 13 – Localização do sítio Joazeiro em 1827



Fonte: Walker (2010).

De 1827 a 1871 a capela possuiu cinco capelães, e nesse meio tempo a aldeia era composta de poucos habitantes, na grande maioria escravos da família do padre Pedro Ribeiro (OLIVEIRA, 2001).

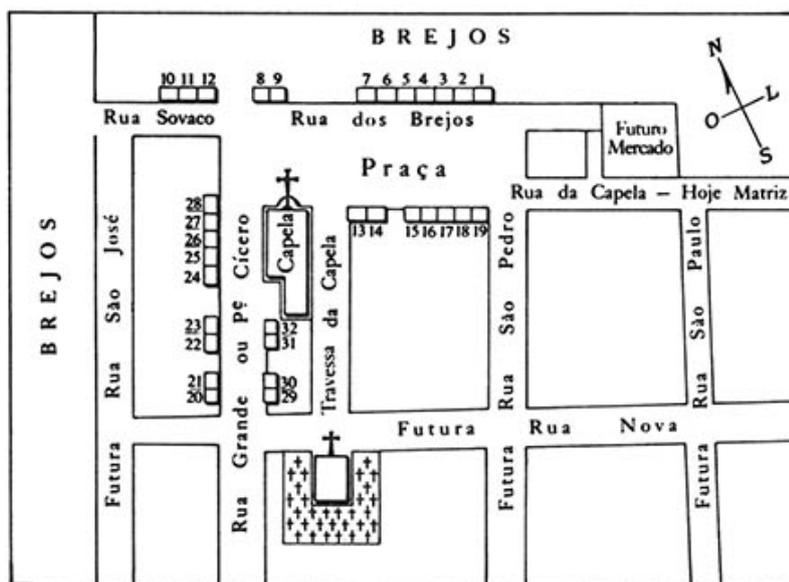
Com base em Della Cava (2014) quando o padre Cícero chegou ao “Joazeiro”, este não passavam de uma localidade desprezível, havendo cinco famílias consideradas proprietários importante, os Gonçalves, Macedo, Sobreira, Landim e Bezerra de Menezes, onde o restante da população era formado por trabalhadores ligados a estas famílias, a grande maioria descendente dos escravos do padre Pedro. O autor pontua que “em 1875, o arraial ainda conservava os traços essenciais de uma fazenda de cana-de-açúcar; sua população totalizava em torno de 2 mil habitantes” (DELLA CAVA, p. 58, 2014).

Em termos de características espaciais apresentadas pelo lugarejo naquela época, Della Cava (2014) elucida que:

O povoado ostentava uma capela, uma escola e 32 prédios com tetos de palha. Havia apenas duas ruas. A rua Grande, mais tarde rua Padre Cícero, estendia-se, paralelamente, ao longo da capela e encontrava-se em perpendicular com a rua dos Brejos. Do ponto de vista comercial, o povoado pouco oferecia a seus habitantes. Vez por outra, mercadores paravam em Joaseiro, de passagem para o Crato, vindos de Missão Velha. Em tais ocasiões, a empoeirada praça, defronte à capela, transformava-se em feira, na qual se trocava café por alguns produtos locais. Não havia economia de mercado propriamente dita. Os elementos mais pobres da comunidade viviam à margem da economia de troca e começavam a dar sinais de descontentamento na época em que chegou padre Cícero (DELLA CAVA, p.58, 201).

Para representar a dimensão dos elementos edificados daquela época, especificamente a capela com suas 32 casas, Della Cava (2014) recorreu a uma espécie de croqui, realizado a pedido de Octávio Aires de Menezes em 1965 (13).

Figura 14 – Dimensão espacial de Juazeiro em 1875



Fonte: Della Cava (2014) *apud* Menezes (1965).

Apesar das características rudimentares do lugarejo apresentada pelas imediações do ano de 1875, esta conquistou autonomia antes de sua emancipação política do município hoje vizinho, Crato. Este episódio, inicialmente não esteve relacionado com elementos comumente associados ao surgimento de um município, isto por que, como Queiroz (2013) destaca “não teve origem em nenhuma riqueza natural ou qualquer atividade econômica de relevo [...] Tampouco foi favorecida por uma localização mais favorável no incipiente sistema viário brasileiro de então” (QUEIROZ, 2013, p. 85).

Ao contrário disto, sucedeu-se acontecimentos religiosos, que no cenário da época repercutiu como os supostos milagres. Este episódio, juntamente com outros acontecimentos ocorridos anterior ou posterior ao evento com a beata, dispersou-se no Nordeste brasileiro e atraiu milhares de fiéis “tanto pela questão mítica do sacerdote e da propagação de sua fama de milagreiro pelo interior nordestino, como pelas secas devastadoras” (PEREIRA, 2013, p. 54) que assolavam o sertão nordestino.

Os acontecimentos extraordinários ocorridos em Juazeiro refletiram num conflito religioso entre a igreja e o padre Cícero, em detrimento da legitimidade dos milagres, resultando na suspensão das atividades eclesiais do padre efetivamente no dia 5 de agosto de 1982. Apesar da decisão determinada pela igreja “milhares de romeiros continuavam a convergir todos os anos para Juazeiro. Muitos lá se instalaram como moradores” (DELLA CAVA, 2014, p. 117).

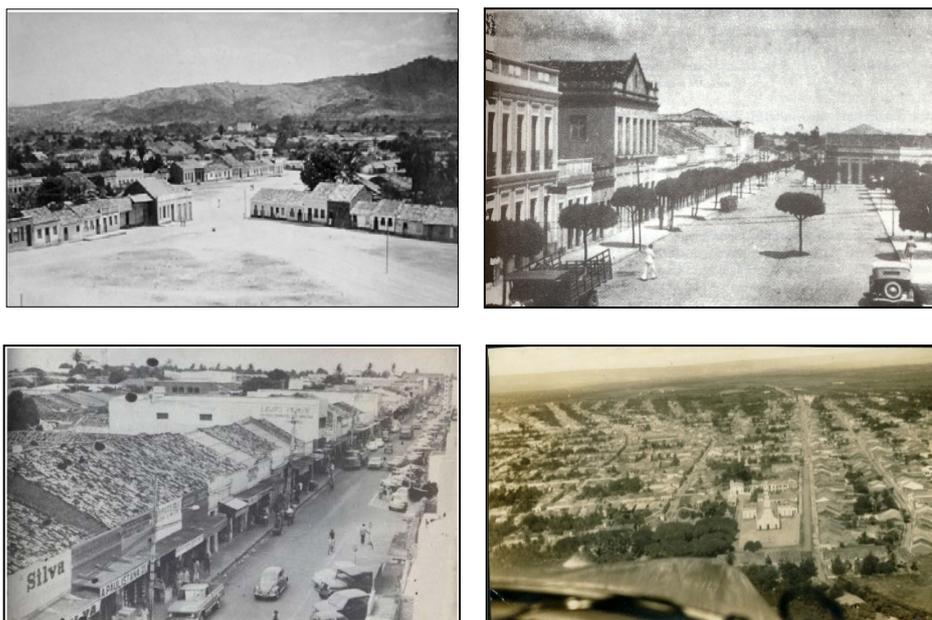
A importância do “milagre” e do próprio padre Cícero convergiram para a imigração de um contingente populacional significativo, sendo confirmada na afirmativa de Della Cava (2014) quando coloca que a população da cidade mais que duplicou, entre o período de 1890 e 1898, excedendo mais que 5 mil habitantes, onde em 1905 já apresentava 12 mil habitantes e em 1909 apresentara 15 mil, tendo essa expansão populacional em detrimentos das peregrinações constantes.

Queiroz (2013) elucida que Juazeiro passa de um modesto lugarejo, e um intervalo pequeno adquire autonomia política, força econômica e principalmente, uma condição urbana significativa. É com base nestes elementos que o cenário religioso de Juazeiro também dá lugar ao cenário político e econômico que o povoado passa a desempenhar.

Na perspectiva econômica, o padre ao aconselhar a população de Juazeiro e seus romeiros a buscarem o desenvolvimento com base na idealização do trabalho e fé, o referido padre difundiu a ideia de prosperidade, e esta concepção contribui para a ocupação de espaços públicos e privados no povoado, modelando uma nova geografia econômica no Cariri Cearense (ARAÚJO, 2011). Esta concepção é concretizada a partir da força de trabalho fornecida pelos fiéis do padre Cícero, para atuar nos solos férteis do Cariri.

Embora os aspectos voltados à agricultura tornem-se importantes para compreensão da formação do município de Juazeiro, Della Cava, dentre outros pesquisadores nos alerta que a consolidação do crescimento urbano (Figura 15) fora ainda mais significativa.

Figura 15 – Núcleo urbano de Juazeiro



Fonte: 1911, 1930, 1950 (IBGE) e 1978 (BNB).

A busca por autonomia de Juazeiro fora gerada do impulso econômico em curso, movida pelo influxo de imigrantes (mão-de-obra) na agricultura e posterior no desenvolvimento da indústria e comércio, estes elementos desenvolvem-se no povoado ainda na situação de subordinado administrativamente ao Crato.

A primeira tentativa do movimento de emancipação política ocorre no ano de 1907, muito embora esta tentativa inicial fracassou (OLIVEIRA, 2014, p. 91). A segunda tentativa deu-se entre os anos de 1908 e 1910, período no qual o movimento começa a ganhar maior vigor. É neste momento que marca-se o ponto fundamental para entrada do padre Cícero na política. Dentre os argumentos mais importantes para conquistar a autonomia, encontra-se no desenvolvido núcleo urbano que a vila apresentara. Tal autonomia ocorreu no dia 02 de julho de 1911 (lei estadual nº 1.028), juntamente com a elevação da categoria de vila, denominada de Joaseiro, sendo elevada a município em outubro do mesmo ano, e tendo como o padre Cícero o primeiro prefeito do então recente município.

A partir dessa configuração política Juazeiro passa de pequeno povoado do Crato a município, tendo anos depois alcançado notoriedade no cenário cearense e nacional, tendo em vista os novos papéis que esta vem a desempenhar na rede urbana brasileira.

6.2 Aspectos socioeconômicos e expansão urbana de Juazeiro do Norte

Juazeiro do Norte-Ceará situa-se entre as coordenadas geográficas 7° 12' 47" de latitude sul e 39° 18' 55" de longitude oeste. Como municípios limítrofes, tem-se ao Norte o município de Caririáçu, ao Sul, Barbalha, ao Leste, Missão Velha, e ao Oeste, o município do Crato. Compreende uma área de 248,832 Km², a uma altitude de 377 metros acima do nível do mar e a aproximadamente 528 km da capital, Fortaleza. O acesso ao município se dão a partir de duas rodovias estaduais que cortam a cidade, sendo, a CE-060 no sentido Caririáçu, e a CE-292, no sentido Crato (IBGE, 2015).

No que corresponde à divisão político-administrativa, o município divide-se na sede, Juazeiro, criado em 1911, e dois distritos, Marrocos e Padre Cícero, ambos criados em 1938.

O município de Juazeiro a partir da chegada do padre Cícero vivenciou intensos processos políticos e econômicos que influenciaram uma conjuntura de expansão espacial, bem como de sua população, como visto no ponto anterior. Estas intensas modificações ao longo dos anos atuaram como agentes do espaço urbano, e tais alterações podem ser observadas com a evolução dos padrões de uso e ocupação.

Ao longo de 104 anos de autonomia política esta urbe modificou-se quase que totalmente em comparação ao núcleo urbano original. Esta expansão pode ser visualizada ao analisarmos a distribuição espacial do referido município compartimentado em décadas. A distribuição deu-se no sentido sul-leste, muito embora atualmente encontra-se expandindo no setor oeste e sudoeste. O perfil da cidade é em grande maioria horizontal, entretanto, no setor que compreende o bairro Triângulo há um índice significativo de edificações verticais.

No que diz respeito às funções comerciais a cidade apresenta três centros comerciais estabelecidos, alojados nos bairros Centro, Pirajá e Triângulo. O primeiro encontra-se localizado nas imediações do núcleo original da cidade, conhecido pelo dispor de funções comerciais que englobam o atacado e varejo. Os outros dois dispõem das mesmas funções, embora com menor proporção, e tendo características mais recentes em relação ao centro tradicional. A maior parte da população acha-se domiciliada no aglomerado urbano correspondente a sede, Juazeiro do Norte e aos distritos, somando uma pequena parcela estabelecida na zona rural.

Nas últimas décadas Juazeiro fora palco de intensos processos que dinamizaram o crescimento tanto populacional quanto econômico. Esse dinamismo pode ser melhor compreendido quando se observa que em 1940 a população total contabilizava 38.145

habitantes e para o ano de 2010 totalizava 249.939 habitantes, representando assim um acrescimento populacional de 85% no que tange a população total. De acordo com os dados, desde 1940 a população urbana permaneceu superior à população rural, apresentando uma taxa de urbanização de aproximadamente 96% (Quadro 14 e Gráfico 7).

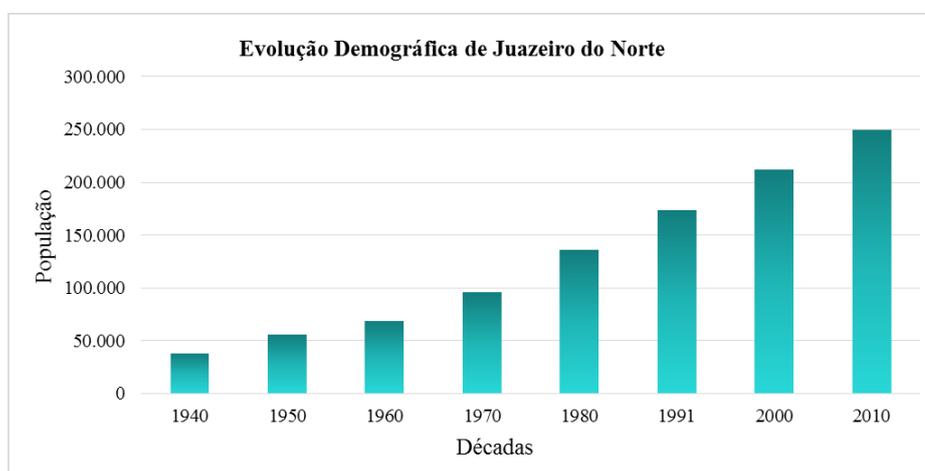
A estimativa para 2015 fora de 266.022 habitantes, sendo a terceira maior população do estado do Ceará. Desses 249.939 mil habitantes, 240.116 (96%) é referente a população urbana e 9.823 (3,93%) encontram-se no perímetro rural. Quanto à densidade demográfica do município apresenta 1.006,91 (hab/Km²).

Quadro 14 – Evolução populacional de Juazeiro do Norte

Evolução Demográfica de Juazeiro do Norte					
Ano	Distribuição da População (1940 - 2010)				
	População Urbana	Urbano (%)	População Rural	Rural (%)	População Total
1940	24.153	63%	13.992	37%	38.145
1950	42.823	76%	13.323	24%	56.146
1960	54.165	79%	14.329	21%	68.494
1970	80.641	84%	15.406	16%	96.047
1980	126.028	93%	9.588	7%	135.616
1991	164.922	95%	8.644	5%	173.566
2000	202.226	95%	9.907	5%	212.133
2010	240.116	96%	9.823	4%	249.939

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censos Demográficos e Contagens 2010
Elaboração da autora.

Gráfico 7 – População de Juazeiro do Norte de 1940 a 2010



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censos Demográficos e Contagens 2010
Elaboração da autora.

Os números acima demonstrados justificam-se pela função que a cidade desempenha, tratando-se do principal centro econômico da região sul do Ceará, resultando no influxo de pessoas a procura do mercado de trabalho, estudo, dentre outras finalidades, influenciados pelo grande número de indústrias composta por um importante polo calçadista,

universidades e faculdades instaladas. Frente a isto Juazeiro do Norte ainda conta com um importante potencial turístico religioso ligado a figura do padre Cícero.

Pertinente à economia, esta é subordinada, sobretudo, ao setor terciário (bens e serviços), indústria e ao turismo religioso. Segundo informações do IBGE, o Produto Interno Bruto (PIB) do município no ano de 2014, representa um montante de R\$ 2.274.490, esse valor é representado pelo mercado Agropecuário, Industrial e de Serviços, sendo o último mais significativo, girando em torno de R\$ 1.890.582 para o referido ano (Quadro 15).

Quadro 15 – PIB de Juazeiro no ano de 2014

Produto Interno Bruto (2014)			
Variável	Juazeiro do Norte	Ceará	Brasil
Agropecuária	13.717	2.179.033	105.163.000
Indústria	370.191	8.358.061	539.315.998
Serviços	1.890.582	25.686.902	1.197.774.001

Fonte: IBGE, 2014. Elaboração da autora.

Juazeiro do Norte ainda apresenta um quadro industrial (Quadro 16) representativo composto por empresas voltadas ao extrativismo mineral (sobretudo relacionado a marmorarias), construção civil, transformação e outros.

Quadro 16 – Quadro industrial de Juazeiro do Norte

Empresas Industriais Ativas (2014)				
Discriminação	Município		Estado	
	Nº	%	Nº	%
Extrativismo Mineral	3	0,2%	340	1,0%
Construção Civil	99	6,8%	2.943	8,3%
Utilidade Pública	1	0,1%	257	0,7%
Transformação	1.363	93,0%	32.033	90,0%
Totais	1.466	100%	35.573	100%

Fonte: SEFAZ, 2015. Elaboração da autora.

No setor de serviços os estabelecimentos comerciais podem ser conceituados por qualquer instalação onde é exercida atividades comerciais, podendo apresentar o carácter de atacadista, varejista ou reparação. Pertinente ao Juazeiro, os estabelecimentos comerciais (Quadro 17) na categoria varejista apresentam-se como os mais expressivos, apresentando em torno de 5.418 estabelecimentos regulares, demonstrados na tabela a seguir:

Quadro 17 – Balanço dos estabelecimentos comerciais no ano de 2014

Estabelecimentos Comerciais (2014)				
Discriminação	Município		Estado	
	Nº	%	Nº	%
Atacadista	104	1,9%	3.608	2,3%
Varejista	5.418	97,9%	150.679	97,4%
Reparação	12	0,2%	483	0,3%
Totais	5.534	100%	154.770	100%

Fonte: SEFAZ, 2015. Elaboração da autora.

Quanto à distribuição dos empregos formais em Juazeiro no ano de 2014 (Quadro 5.2-4), este é representado pelo valor de 47.966 empregados no município, sendo a maior parte destinada ao comércio, com 13.827 empregados e a indústria mineral com 10.536. Quanto aos menores contingentes de empregados formais estão relacionados ao extrativismo mineral e a agropecuária, compondo o valor de apenas 30 empregados (Quadro 18)

Quadro 18 – Distribuição de empregos formais no município de Juazeiro

Empregos Formais (2014)						
Atividade	Município			Estado		
	Masculino	Feminino	Total	Masculino	Feminino	Total
Extrativa Mineral	2	2	4	3.034	302	3.336
Indústria Mineral	6.931	3.605	10.536	162.810	101.830	264.640
Serviços Industriais de Utilidade Pública	141	37	178	7.435	1.539	8.974
Construção Civil	1.517	210	1.727	85.779	7.022	92.801
Comércio	8.036	5.791	13.827	160.615	113.553	274.168
Serviços	7.742	8.528	16.270	275.286	214.568	489.854
Administração Pública	1.728	3.663	5.391	152.560	239.365	391.925
Agropecuária	28	5	33	23.460	3.289	26.749
Totais	26.125	21.841	47.966	870.979	681.468	1.552.447

Fonte: SEFAZ, 2015. Elaboração da autora.

7 A EVOLUÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA ILHA DE CALOR URBANA

7.1 Análise geral da evolução das Ilhas de Calor de Superfície

O produto gerado a partir das imagens de satélite Landsat 5 nas décadas de 80, 90 e 2000 (correspondentes aos anos de 1986, 1996 e 2010) expuseram os padrões da distribuição das Ilhas de Calor de Superfície (I.C.S) para estes anos no recorte espacial que compreende o município de Juazeiro do Norte, evidenciando seus núcleos de calor. A nível municipal, os maiores valores da temperatura de superfície encontram-se na transição das áreas rurais ou áreas urbanas de baixa densidade e acentuam-se gradualmente aos perímetros densamente urbanizados, como é o caso do núcleo urbano de Juazeiro. As classes de da temperatura de superfície mais amenas, foram identificado nas franjas urbanas ou áreas de características rurais, bem como setores urbanos de baixa densidade, confirmado o que a literatura científica elucida sobre o canal termodinâmico, precisamente relacionado à manifestação das ilhas de calor.

Observou-se que comportamento das Ilhas de Calor de Superfície não demonstrou-se de forma clássica, ou seja, quando há um núcleo de calor na área central da cidade que geralmente pode estar associado ao centro comercial da mesma. Diferentemente, identificou-se outro padrão, no qual corresponde à dispersão do núcleo de calor em outras áreas do município que retratam a presença de elementos potencialmente susceptíveis a alcançar temperatura semelhantemente quente, como é o caso do surgimento de novos centros comerciais.

A forma das Ilhas de Calor de Superfície de Juazeiro, como supracitado não se mostrou de forma clássica, ou seja, quando ocorre um único núcleo de calor no município correspondente a maior classe de temperatura, muito embora, no período chuvoso nos três anos de análise fora identificado um núcleo de calor de maior densidade, localizado numa circunferência que engloba o setor sudoeste do município. O núcleo de calor significativo identificado no período chuvoso (verão) desmembra-se no período seco (segundo semestre do ano), apresentando características de dispersão em outros núcleos de calor igualmente quente, espalhando-se, sobretudo nos setores sudeste, sul e sudoeste.

A intensidade da ilha de calor superficial é distinta de acordo com o período analisado. No período chuvoso (verão) esta afigurou-se exibindo um núcleo de calor principal expressada na porção sudoeste do perímetro urbano. Esta resolução se dá em

virtude da ampla quantidade de material construído e pela pouca capacidade destes materiais em transferir o calor armazenado e não conter qualidades permeáveis para realizarem o resfriamento evaporativo. Associado a estes elementos ainda incide a baixa presença de vegetação, importante fator de atenuação das condições térmicas tanto do ar como da superfície. Em contrapartida, as áreas com classe de temperatura de superfície mais amenas distribuíram-se expressivamente em recintos com presença de vegetação, corpos hídricos ou solo com alguma influência vegetacional, como gramíneas (que em relação ao asfalto ou concreto transforma calor através da evapotranspiração), ou em virtude do fator climático altitude, representado pela colina do Horto com 587 metros (onde a cada 100 metros a temperatura diminui cerca de 0,65 °C). A distribuição das classes mais aprazíveis nestes espaços específicos sobreveio por conta da relevante concentração de umidade nos ambientes naturais, produto da precipitação associada aos sistemas atmosféricos atuantes na área, no período em questão.

No período seco, que corresponde ao segundo semestre do ano, observou-se que a ilha de calor apresenta características de dispersão de seu núcleo de calor principal e desmembra-se em outros núcleos de menor extensão e de temperatura igualmente elevada. Recintos que no período chuvoso dispunha de classes que os qualificavam como áreas de temperatura amena, na estação seca vivencia uma redução efetiva em termos de área. Esta mudança drástica pode ser explicada pela diminuição ou ausência de umidade no solo ou na própria vegetação, que por ser em maior parte a caatinga, na ausência de precipitação se adapta e perde sua folhagem, reduzindo assim seu poder evaporativo, bem como sua capacidade de sombreamento, evitando que a superfície, seja natural ou artificial venha a se aquecer.

Ainda na estação seca, percebeu-se que as classes pertinentes às temperaturas superficiais mais aprazíveis estão integradas às localidades que compreendem a colina do Horto e remanescentes de matas ciliares tanto do rio Salgadinho, como do riacho das Timbaúbas, ambos associado à bacia do Salgado. Esta afirmativa pode ser verificada na medida em que localiza-se na extremidade sul, sudeste e sudoeste um rastro da classe que exprime as temperaturas mais agradáveis, moldando os meandros que corresponde ao referido rio e riacho.

A espacialização da forma e intensidade da ilha de calor de superfície descrita nos parágrafos anteriores depende de um conjunto de atributos que irão moldar tais características. Estes atributos podem ser modificados de acordo com a época do ano investigado (resultado da repercussão dos sistemas atmosféricos para cada estação), bem

como por fatores como a própria característica do município (elevação, as superfícies líquidas presentes, a vegetação e a propriedade térmica dos materiais urbanos). Estes atributos irão resultar no comportamento espacial e temporal da ilha de calor de superfície no município, moldando sua localização e magnitude.

7.2 A relação da sazonalidade e a distribuição das ilhas de calor superficial nos anos de 1986, 1996 e 2010

A temperatura de superfície obtida a partir das imagens de satélite possibilitou compreender o comportamento da ilha de calor superficial da área investigada nos anos e períodos propostos. A partir dos dados obtidos, quantificou-se a seus intervalos de classes, sua forma e distribuição ao longo do município. A investigação seccionada no período chuvoso e seco revelou a importância de deixar claro que o sensoriamento remoto pode ser qualificado como uma contribuição ao estudo do clima urbano, tendo em vista, que a ilha de calor superficial modela-se de acordo com a combinação de inúmeras características, sendo necessário além do emprego sensores, o desenvolvimento de um estudo mais pontual. Estas informações são confirmadas na medida em que percebe-se claramente que além da influência do sítio urbano, bem como do município como um todo, outros fatores como a localização geográfica, a morfologia natural e sobretudo a época do ano na qual realizou-se a análise, torna-se fundamental para entender o comportamento da temperatura de superfície na mancha urbana ou no município.

É alicerçada nestas informações, que será realizada a análise da temperatura superficial terrestre nos anos e períodos propostos, levando em consideração a influência dos elementos naturais e superficiais.

7.3 Ilhas de Calor de Superfície em 1986 (Período chuvoso e seco)

Na distribuição da temperatura de superfície da estação chuvosa de 1986, identificou-se um núcleo de calor principal na qual assemelha-se a uma ilha representado pela coloração vermelha, localizado no setor sudoeste do município. Esta mancha vermelha é representada pelas maiores temperaturas de superfície encontradas para este período, chegando até 29,7°C. Outros núcleos de calor igualmente quentes e de menor extensão territorial também são encontrados nos setores adjacentes ao núcleo principal da ilha de

calor, correspondendo à porção sul, sudeste, sudoeste, leste e parte do setor norte do município. A localização do núcleo de calor principal e os de menor extensão encontram-se no perímetro inserido entre os bairros Centro, Pirajá, Triângulo e Limoeiro.

A temperatura de superfície que representam os valores intermediários apresentaram-se como as mais presentes no município, levando em consideração que temperaturas como estas espalharam-se por toda porção central da localidade, bem como o setor sul, leste e sudeste, alcançando os 27,25°C.

Quanto à temperatura de superfície mais amenas, identificou-se o valor de 16, 1°C. Esta classe localiza-se tanto no setor considerado como franja-urbana ao norte e nordeste do município, bem como o setor oeste, representado pela colina do Horto.

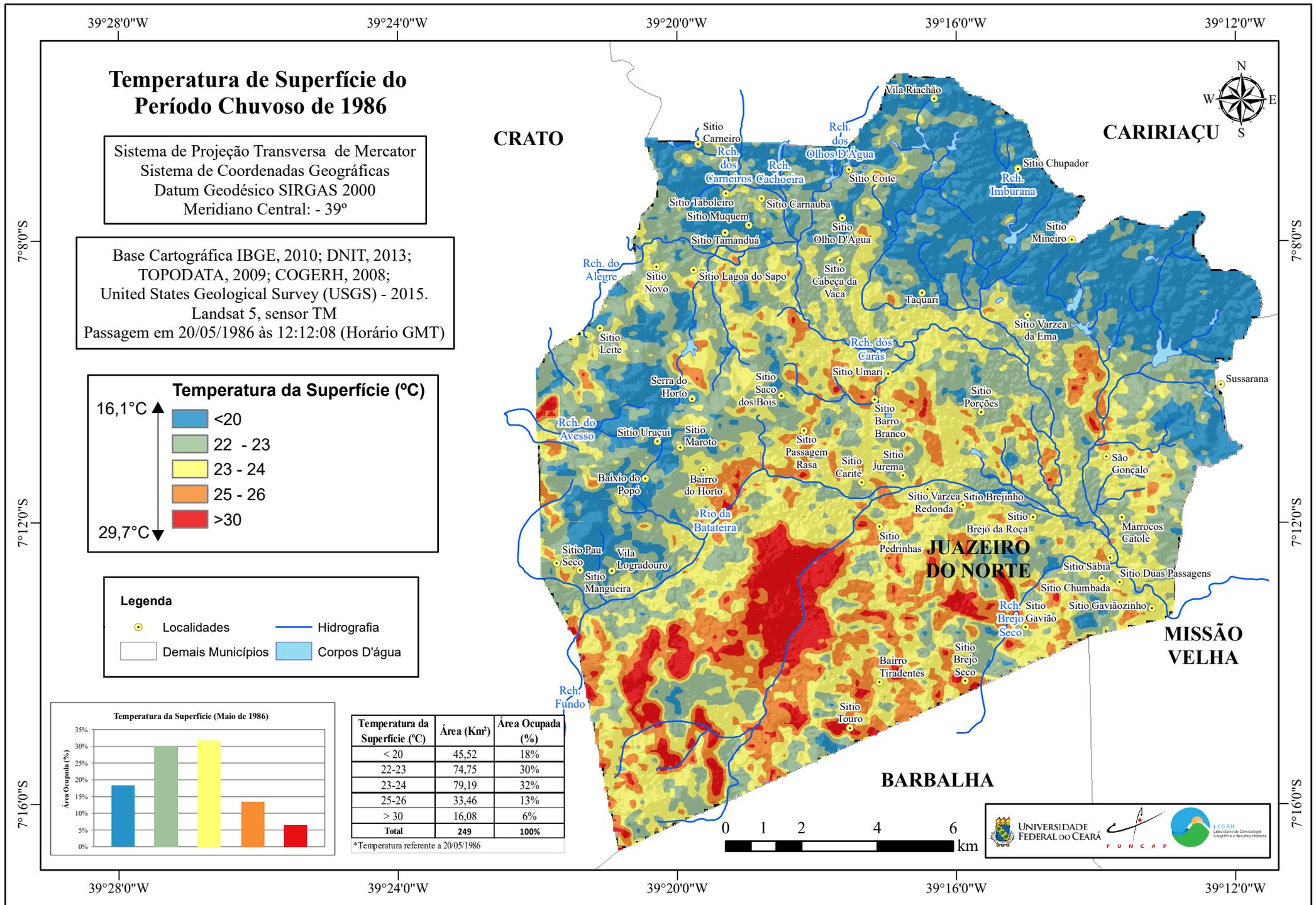
Quanto a espacialização da temperatura de superfície do período seco para o mesmo ano, percebe-se que o núcleo principal de calor, é disperso em vários outros núcleos de menor extensão territorial, localizando-se mais ao sul, nos perímetros que corresponde as divisas municipais de Crato e Barbalha. A mancha vermelha dispersa nos setores descritos acima refere-se às de temperatura de superfície que alcançaram 33,79°C. A categoria referente aos valores intermediários na estação seca de 1986 é de 29,25°C e assim como na estação chuvosa, compreende a extensão mais significativa no território. A última categoria diz respeito aos menores valores de temperatura de superfície, e nesta estação ocorreu uma diminuição, sendo representado por poucas porções do território pertencente ao município.

Por fim, têm-se as temperaturas de superfície mais elevadas. Quanto a esta categoria, observa-se um aumento, embora não tão expressivo, tendo em vista que o aumento fora de 6% ou 16,08 Km² para 7% ou 16, 49 Km², equivalendo uma diferença de apenas 1%.

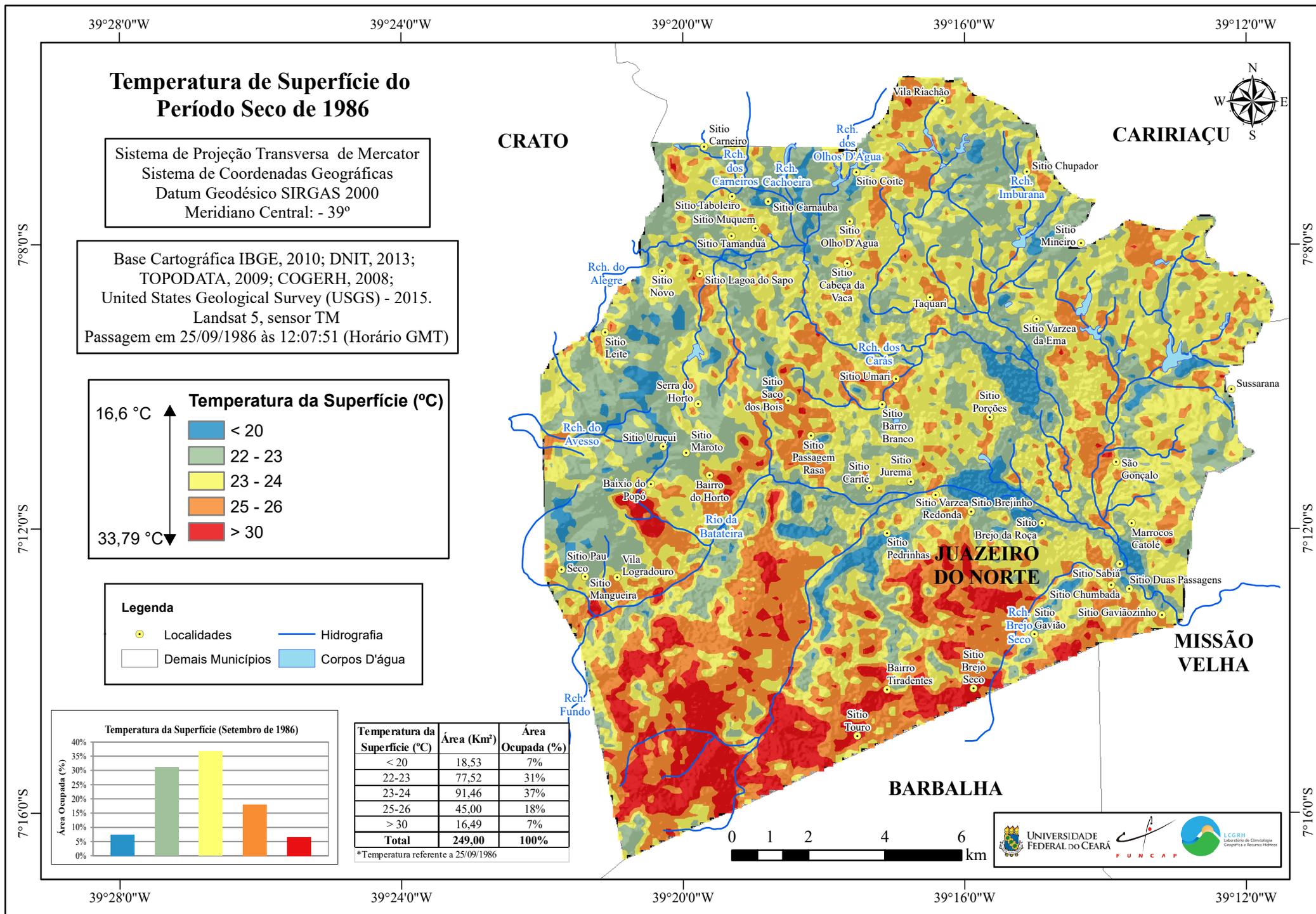
Quanto aos valores intermediários, estes tiveram um aumento considerável, estando associada à influência da sazonalidade. Esta categoria aumentou de 32% ou 79,19 Km² para 37% ou 91,46 Km².

O que percebe-se é que os valores mínimos representados diminuíram de 18% ou 45,52 Km² (período chuvoso de 86) para 7% ou 18,53 Km² (período seco), ou seja, uma redução de 11% ou de 26,99 Km² a menos de temperaturas mais amenas no município.

As variáveis podem ser analisadas nos mapas 5 e 6, nos gráficos 8 e 9 e nos quadros 19 e 20.

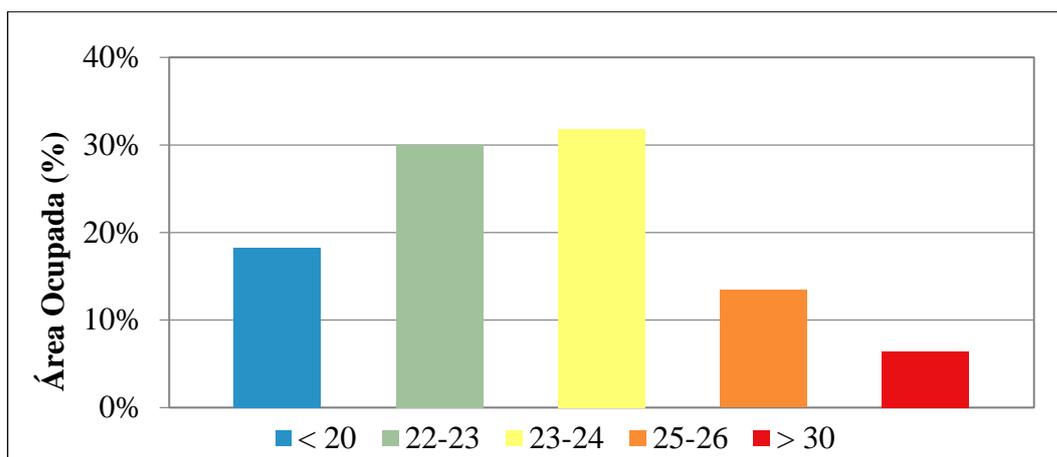


Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



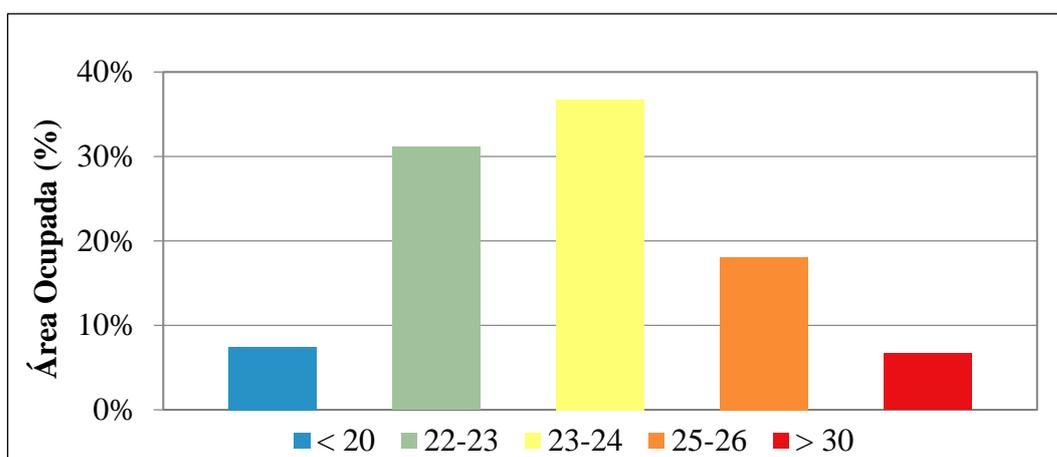
Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

Gráfico 8 – Temperatura de Superfície do período chuvoso de 1986



Fonte: Elaboração da autora.

Gráfico 9 – Temperatura de Superfície do período seco de 1986



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 19 – Área da Temperatura de Superfície no período chuvoso de 1986

Temperatura da Superfície (°C)	Área (Km²)	Área Ocupada (%)
< 20	45,52	18%
22-23	74,75	30%
23-24	79,19	32%
25-26	33,46	13%
> 30	16,08	6%
Total	249	100%

Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 20– Área da Temperatura de Superfície no período seco de 1986

Temperatura da Superfície (°C)	Área (Km²)	Área Ocupada (%)
< 20	18,53	7%
22-23	77,52	31%
23-24	91,46	37%
25-26	45,00	18%
> 30	16,49	7%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

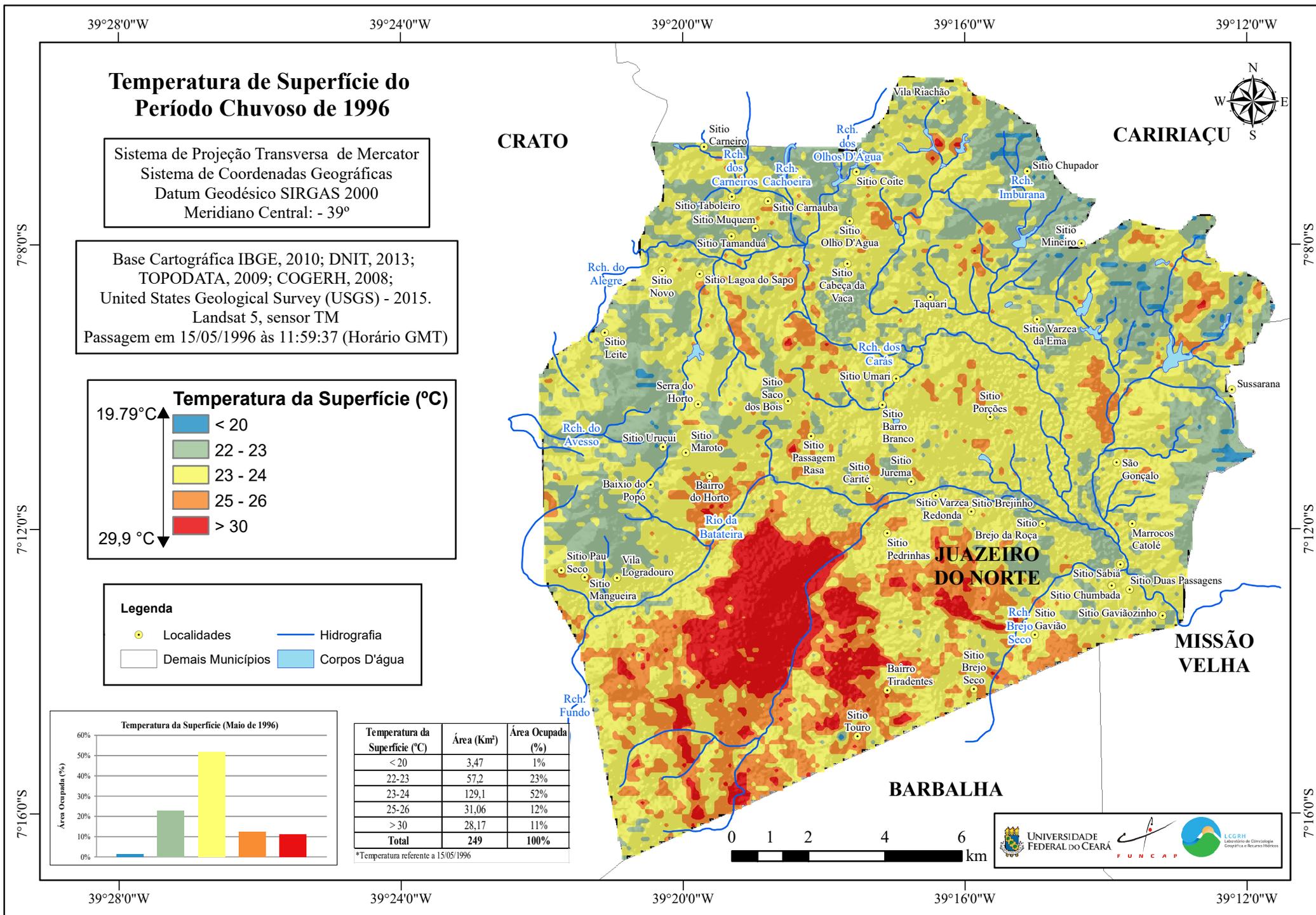
7.4 Temperatura de Superfície de 1996 (Período chuvoso e seco)

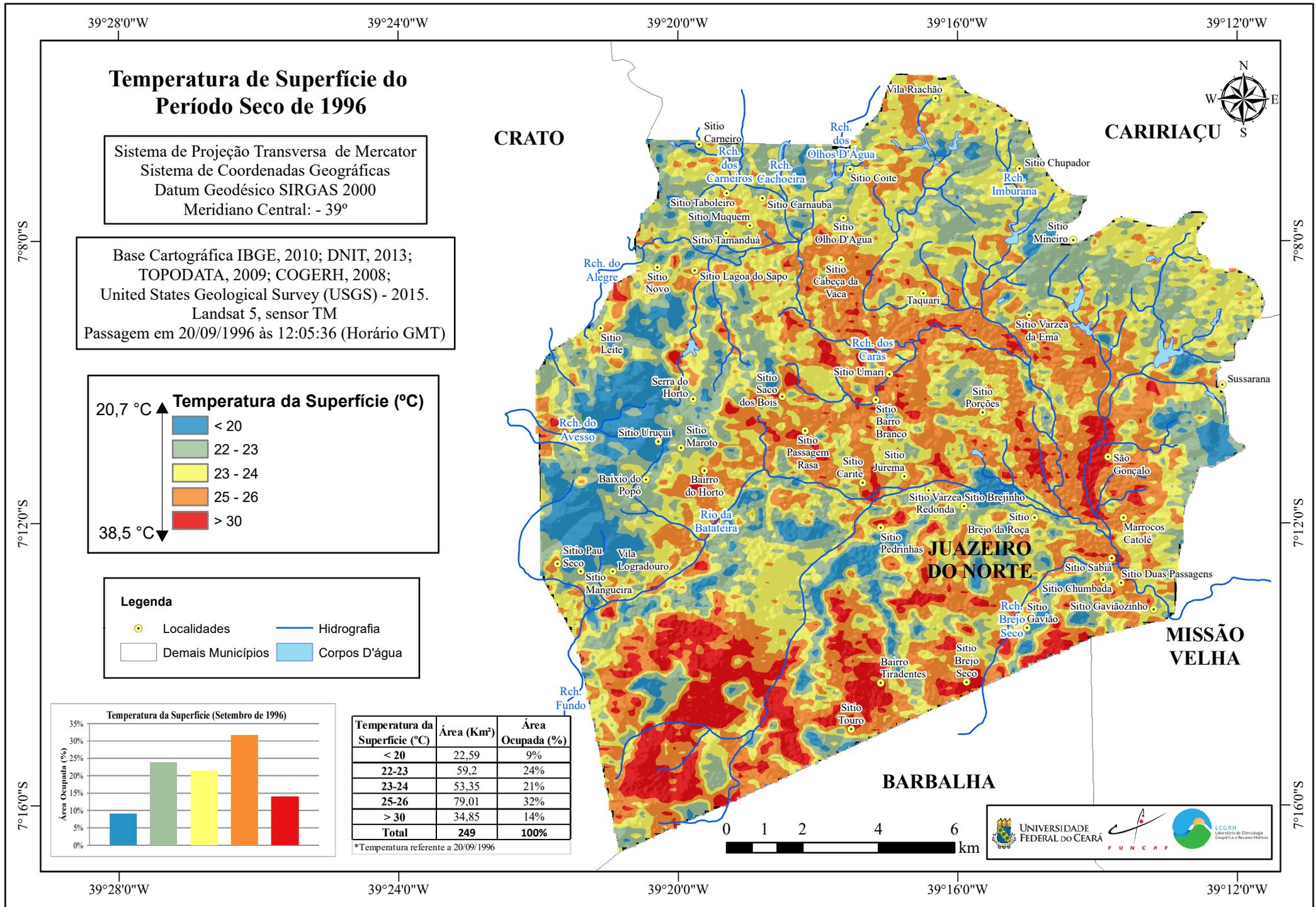
A temperatura de Superfície para o período chuvoso do ano de 1986, dentre os analisados foi o que menos apresentou temperaturas amenas, quase não aparecendo territorialmente no município de Juazeiro, somando apenas 1%, ou seja, 3,47 Km². Os únicos trechos que expuseram esta temperatura localizaram-se próximo a divisa municipal com Missão Velha, ou porções ao norte da área investigada. A categoria responsável por aglutinar a temperatura de superfície relacionada aos valores intermediários, para este ano somou mais da metade territorial de Juazeiro, perfazendo 52% da área total, correspondendo a 129,1 Km². Esta estação fora qualificada como o único ano e período que mais apresentou valores nessa perspectiva.

Quanto às condições térmicas mais elevadas, esta também expôs uma mancha expressiva no município, sobretudo na sede municipal. Em relação ao ano anterior para o

mesmo período, verificou-se um aumento no que diz respeito à dimensão territorial dessas condições. Além desta expansão, verificou-se outros setores de igual valor em direção ao município de Barbalha. No total, as temperaturas mais expressivas somaram 11% na localidade investigada.

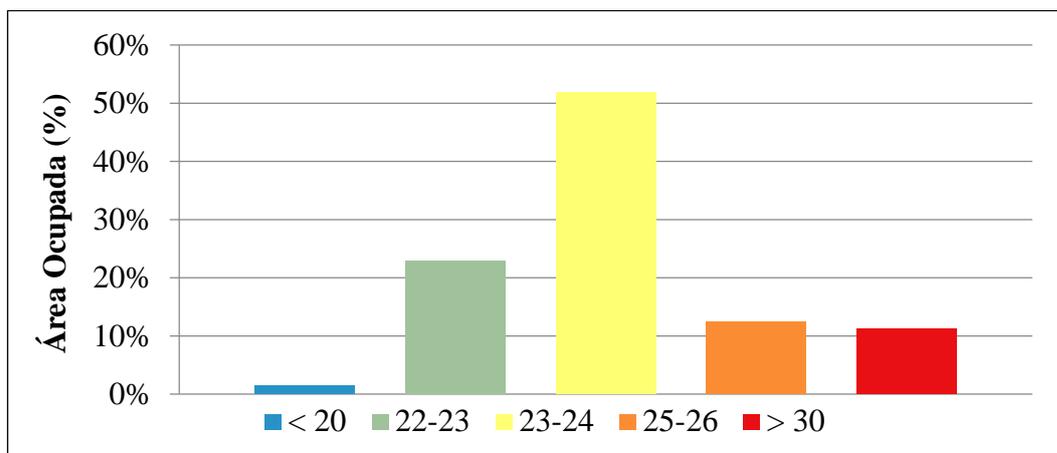
Estes dados podem ser observado nos mapas 7 e 8, nos gráficos 10 e 11 e nos quadros 21 e 22.





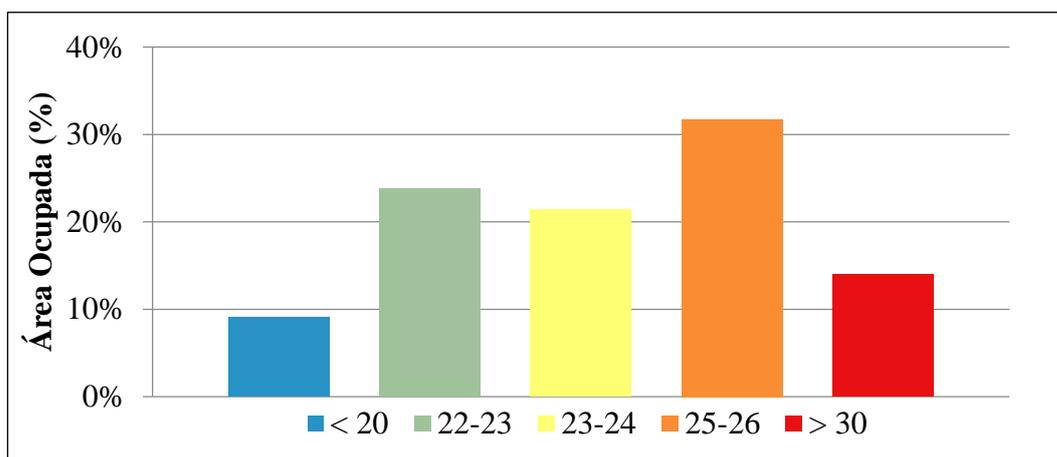
Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

Gráfico 10 – Temperatura de Superfície do período chuvoso de 1996



Fonte: Elaboração da autora.

Gráfico 11 – Temperatura de Superfície do período seco de 1996



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 21 – Área da Temperatura de Superfície no período chuvoso de 1996

Temperatura da Superfície (°C)	Área (Km ²)	Área Ocupada (%)
< 20	3,47	1%
22-23	57,2	23%
23-24	129,1	52%
25-26	31,06	12%
> 30	28,17	11%
Total	249	100%

Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 22 – Área da Temperatura de Superfície no período seco de 1996

Temperatura da Superfície (°C)	Área (Km²)	Área Ocupada (%)
< 20	22,59	9%
22-23	59,2	24%
23-24	53,35	21%
25-26	79,01	32%
> 30	34,85	14%
Total	249	100%

Fonte: Elaboração da autora.

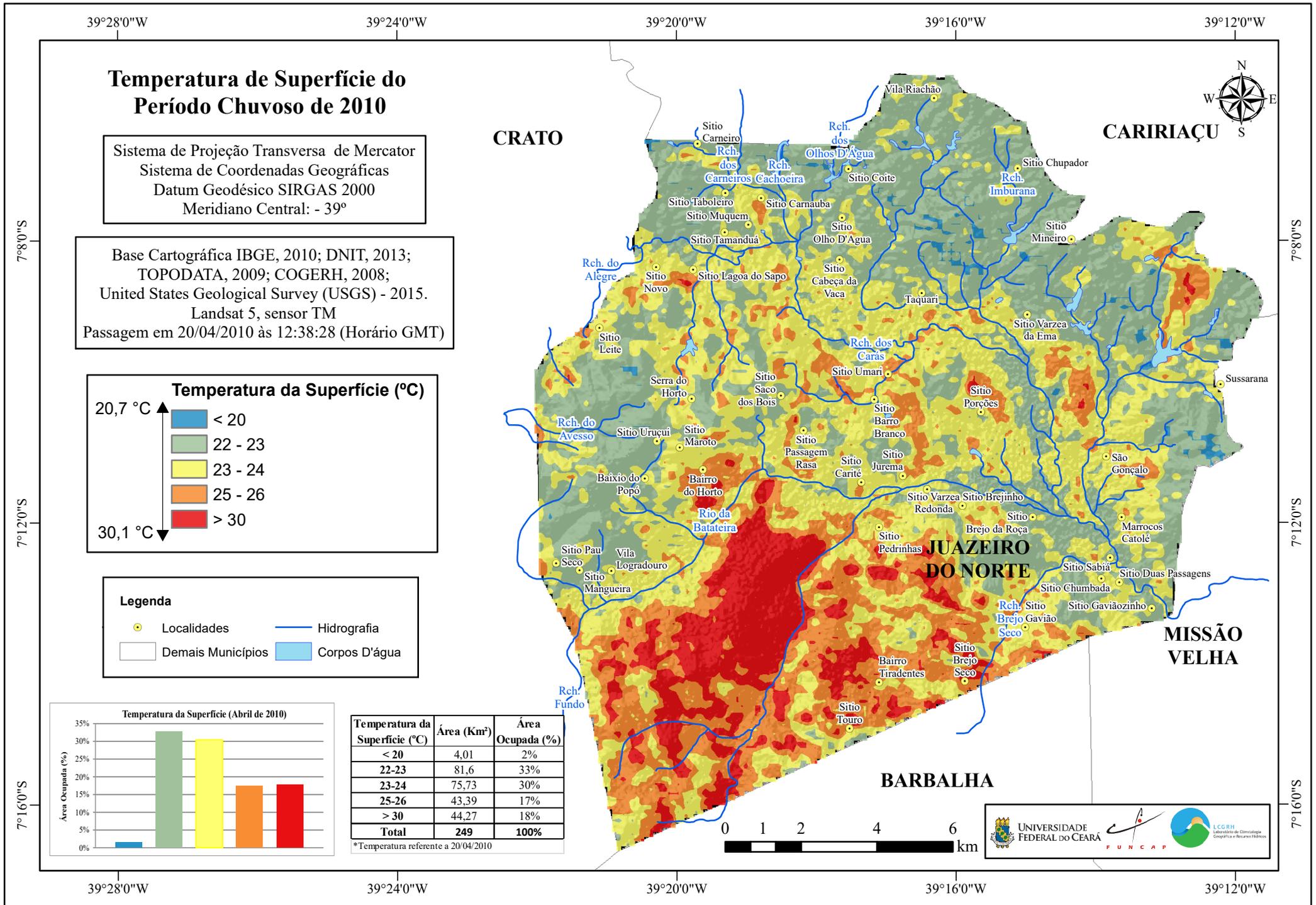
7.5 Temperatura de Superfície de 2010 (Período chuvoso e seco)

No período chuvoso de 2010, bem como os anos anteriores, detecta-se as Ilha de Calor de Superfície no aglomerado urbano de Juazeiro do Norte, a diferença entre os anos precedentes é que ao longo destes, a sua extensão territorial fora avolumando-se, e desmembrando-se em áreas adjacentes, como setores próximo as divisas de Juazeiro, Crato e Barbalha. Esse setor é denominado de triângulo Crajuabar, e pode representar uma possível influência (pois apresenta grande quantidade de materiais de baixo poder evaporativo, como coberturas e pavimentos e a ausência de superfícies de alto poder evaporativo, como vegetação e superfícies líquidas).

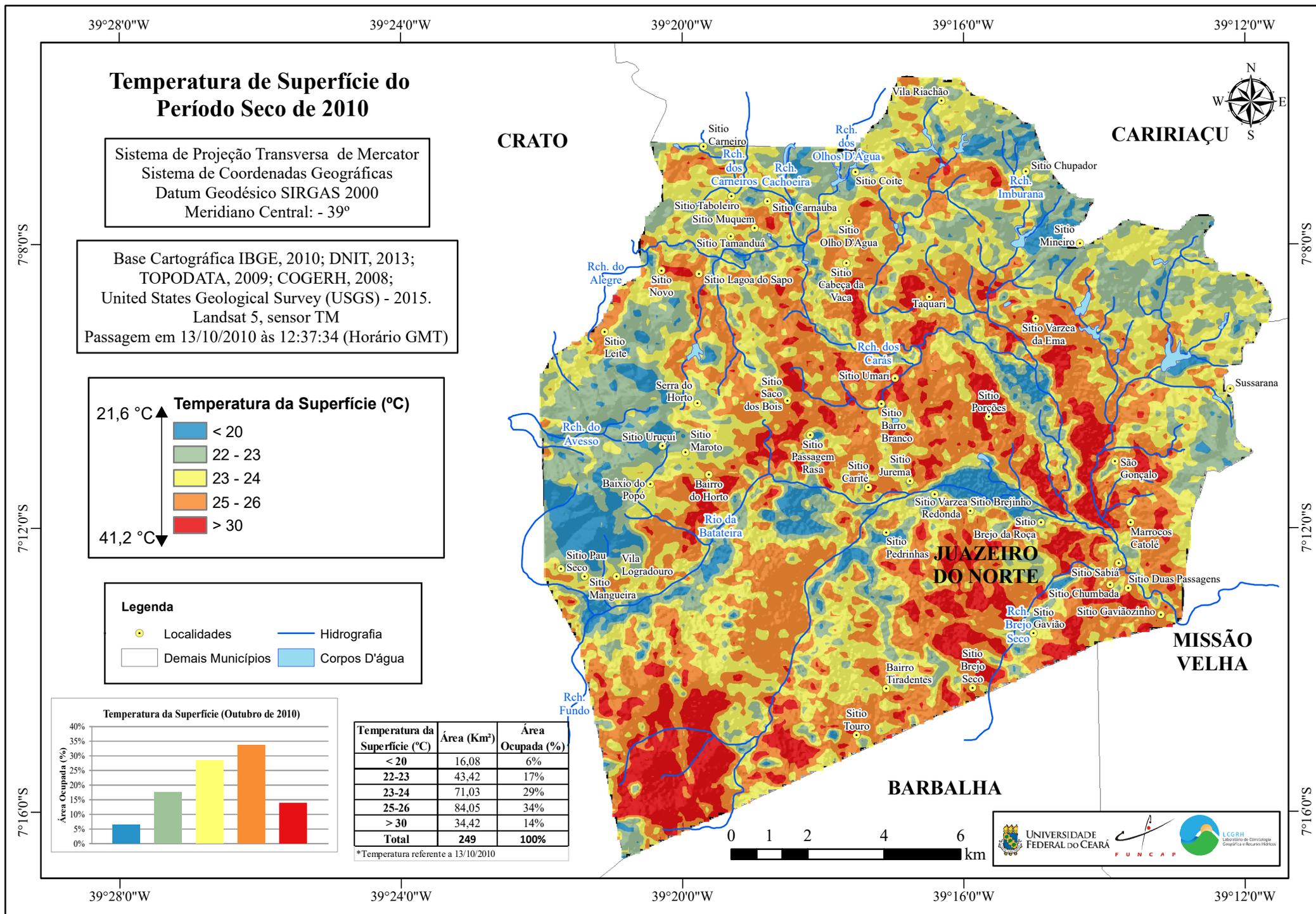
As temperaturas de superfícies mais elevadas para esse ano chegaram até os 30,1°C, perfazendo 18% do território do município.

Quanto às temperaturas mais baixas, esta assim com 1996, fora representada apenas por 2% no território, apenas 1% a mais do que o ano precedente para o mesmo período. Estas condições situaram-se nas bordas norte, leste e oeste do município. Nas bordas norte e leste são qualificados como zonas rurais, no setor oeste acha-se a colina do horto. Similarmente aos outros anos do mesmo período as temperaturas mais amenas estiveram enclausuradas, sobretudo nestes setores.

Por fim, os valores intermediários do ano de 2010, foram maiores do que 1986 e menores que 1996 para a mesma estação. Essas condições espalharam-se por todo o município, significando 30% ou 75,73 Km² do seu território. Estas informações acham-se distribuídas nos mapas, gráficos e quadros a seguir:

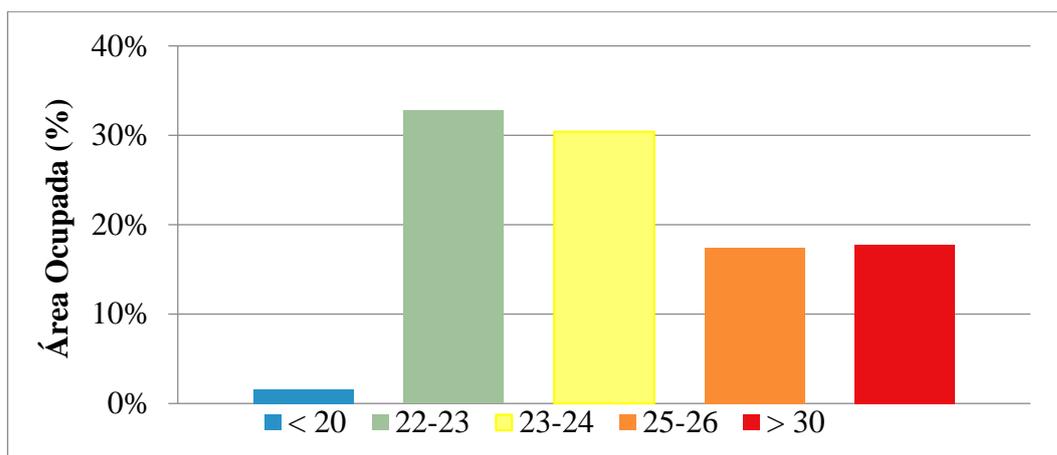


Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



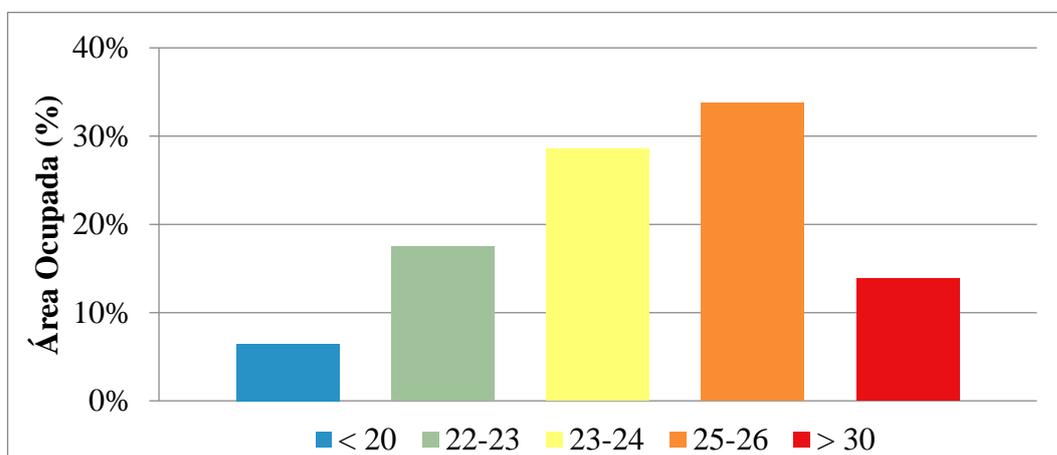
Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

Gráfico 12 – Temperatura de Superfície do período chuvoso de 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Gráfico 13 – Temperatura de Superfície do período seco de 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 23 – Área da Temperatura de Superfície no período chuvoso de 2010

Temperatura da Superfície (°C)	Área (Km ²)	Área Ocupada (%)
< 20	4,01	2%
22-23	81,6	33%
23-24	75,73	30%
25-26	43,39	17%
> 30	44,27	18%
Total	249	100%

Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 24 – Área da Temperatura de Superfície no período seco de 2010

Temperatura da Superfície (°C)	Área (Km ²)	Área Ocupada (%)
< 20	16,08	6%
22-23	43,42	17%
23-24	71,03	29%
25-26	84,05	34%
> 30	34,42	14%
Total	249	100%

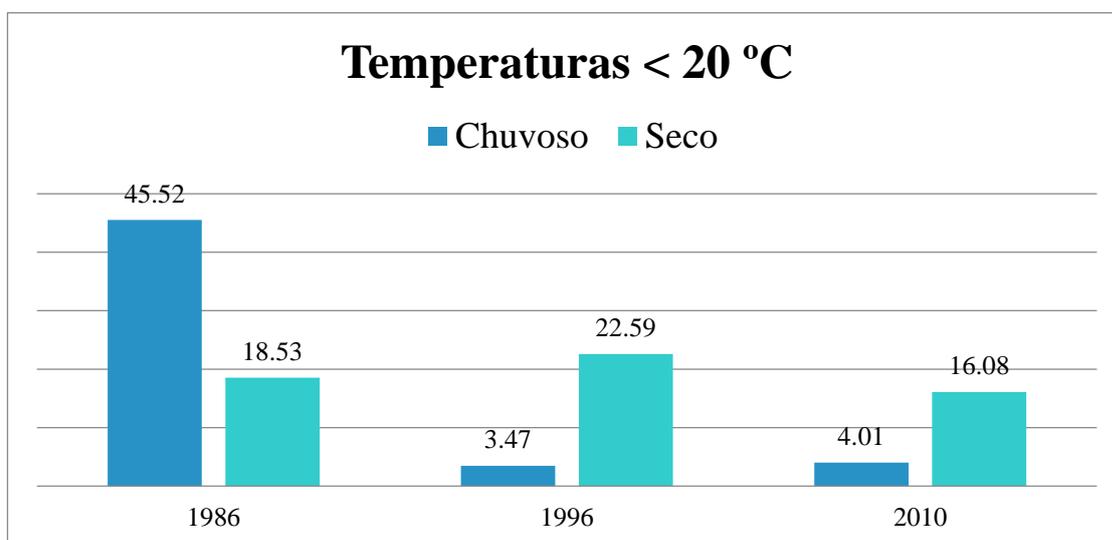
Fonte: Elaboração da autora.

7.6 O comportamento dos intervalos de classe nos anos de 1986, 1996 e 2010

Além da análise dos padrões de comportamento, forma e intensidade, bem como a localização dos núcleos de calor, desenvolveu-se um diagnóstico da distribuição de cada classe gerada para compartimentar as temperaturas de superfícies fornecidas pelas imagens de satélite, informando a porcentagem e respectiva área em Km² de cada setor correspondente às classes e sua evolução ao longo dos anos.

Na classe que corresponde às temperaturas < 20, constatou-se que em 1986 o período chuvoso retratou ser o mais expressivo dentre os anos analisados, simbolizando 45,52 Km² (18%) no território de Juazeiro. Em 1996 e 2010, ocorre contrariamente, uma vez que esta classe mostra-se superior no período seco, pois em 1996 englobou 22,59 Km² (9%) e em 2010 somou 16,08 Km² (6%) (Gráfico 14).

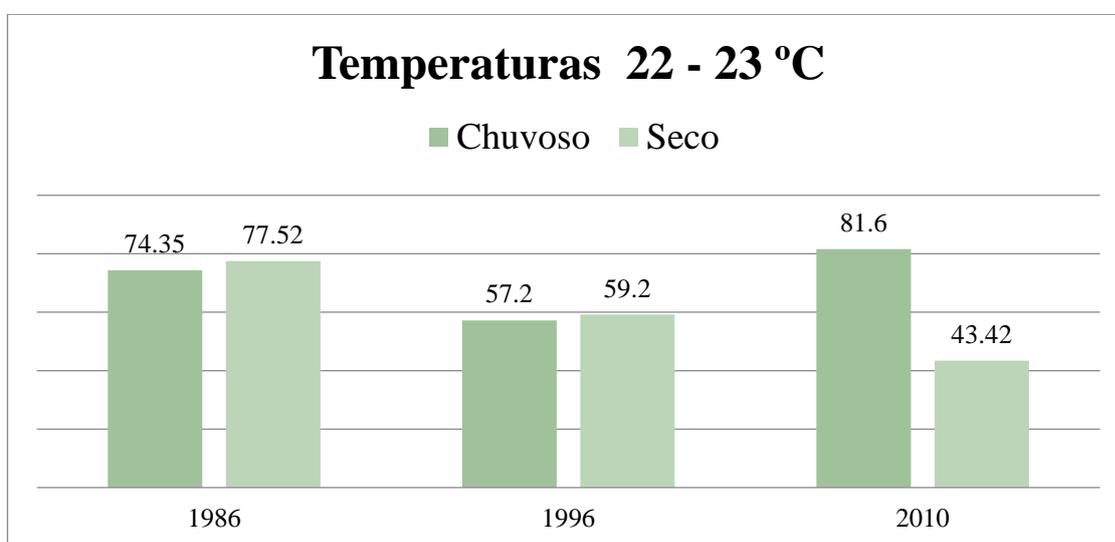
Gráfico 14 – Evolução da classe de temperatura < 20 °C



Fonte: Elaboração da autora.

Na classe que enquadram os valores entre 22-23 °C que remete a compartimentação de temperaturas mais amenas (Gráfico 15), atenta-se que no período seco de 1986 esta classe mostrou-se superior, englobando 77,52 Km² (31%), apesar de que tal diferença seja mínima, pois no período chuvoso verificou-se 74,35 Km² (30%). O mesmo sucedeu-se para o ano de 1996, com 59,2 Km² (24%) no período seco e 57,2 (23%). Nesta classe, tanto para 1986, como para 1996 a diferença territorial esteve em torno de 1%. Em 2010, tal classe predominou efetivamente o período chuvoso, correspondendo a 81,6 Km² (33%) do território que abarca Juazeiro.

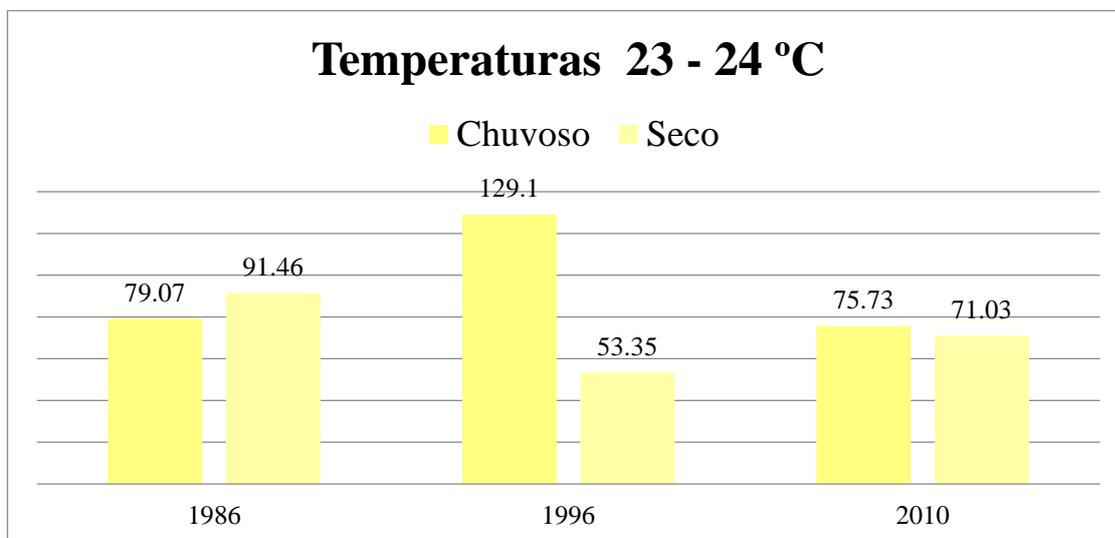
Gráfico 15 – Evolução da classe de temperatura 22-23 °C



Fonte: Elaboração da autora.

Na classe que remete ao intervalo de 23-24 °C abarcando temperaturas de superfície intermediárias (Gráfico 16), o período seco de 1986 fora mais expressivo do que no período chuvoso, somando 91,46 Km² (37%) do território total. Já em 1996 e 2010 esta classe distribui-se em maior quantidade na estação chuvosa, sendo 129,1 Km² (52%) para 1996 e 75,73 Km² (30%) para 2010.

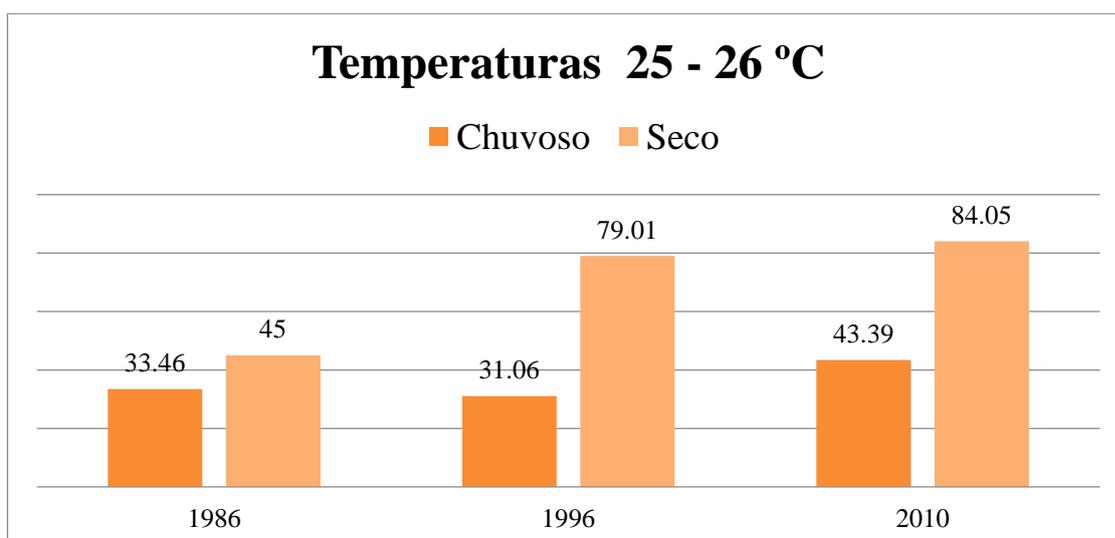
Gráfico 16 – Evolução da classe de temperatura 23-24 °C



Fonte: Elaboração da autora.

O intervalo que corresponde de 25-26 °C, dentre a espacialização das classes anteriores, fora o que apresentou maior incidência no período seco nos três anos investigados, 1986, 1996 e 2010, sendo que em 1986 cobriu 45 Km² (18%), em 1996 englobou 79,01 Km² (32%) e em 2010 abarcou 84,05 Km² (34%). Sendo assim, tal intervalo de classe apresentou-se mais expressivo espacialmente no período seco dos referidos anos (Gráfico 17).

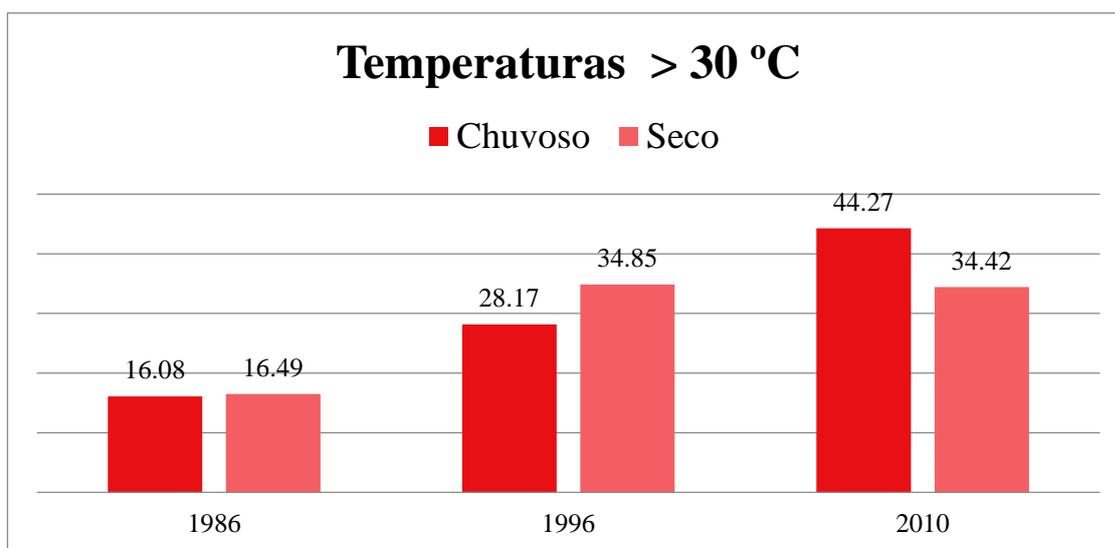
Gráfico 17 – Evolução da classe de temperatura 25-26 °C



Fonte: Elaboração da autora.

O último intervalo de classe (Gráfico 18) diz respeito aos valores $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e compreende as temperaturas mais elevadas. Neste intervalo, no ano de 1986 e 1996 a distribuição das temperaturas mais altas ocorreu no período seco (com 16,49 Km² ou 7% em 86 e 34,85 Km² ou 14% em 1996), embora no ano de 2010 fora o período chuvoso que obteve a maior parcela territorial, com 44,27 (18%) em relação a 34,42 (14%) no período seco.

Gráfico 18 – Evolução da classe de temperatura $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$



Fonte: Elaboração da autora.

7.7 Evolução dos valores Mínimos, Médios e Máximos

Até o presente momento pautou-se numa discussão que descreve a distribuição das temperaturas de superfície com base na oscilação da mesma nos períodos chuvosos e secos dos anos analisados. Percebeu-se que no período chuvoso as temperaturas mais altas encontram-se no aglomerado urbano, as temperaturas intermediárias acham-se espalhadas por todo município e as temperaturas mais amenas distribuem-se nos setores pertencentes à colina do Horto e setores correspondentes as franjas urbanas.

Na estação seca dos mesmos anos, as temperaturas de superfície mais elevadas que conglomerava o núcleo de calor principal visualizado no período chuvoso, desmembram-se no período seco em áreas adjacentes ao aglomerado urbano de Juazeiro e direcionam-se nas divisas dos municípios de Crato e Barbalha, numa área que envolve o triângulo Crajubar. As temperaturas intermediárias, bem como no período chuvoso, espalham-se por quase todo o território e são consideradas as mais significativas para ambos os períodos, dos três anos

investigados. As condições térmicas mais amenas restringem-se no período seco apenas a colina do Horto e aos resquícios de matas ciliares que acompanham os rios e riachos que cortam Juazeiro, sobretudo o rio Salgadinho e riacho das Timbaúbas.

O resultado de comportamento da temperatura de superfície, além de outros elementos fora influenciado pelo fator sazonalidade, tendo em vista que as paisagens naturais e artificiais transformam-se significativamente. Em meio a estes elementos, dar-se destaque ao papel da vegetação, que neste caso está associada às temperaturas mais aprazíveis. A maior parte da vegetação do município é classificada como caatinga, onde a folhagem deste bioma retorna nos curtos períodos de precipitações. A presença desta cobertura vegetal interage com a energia eletromagnética a ponto de apresentar temperaturas mais amenas, por sua eficiência em transformar a radiação através do processo evaporativo.

Na estação seca, não há a folhagem da vegetação, no entanto as áreas onde há a presença de superfícies líquidas tendem a disponibilizar umidade tanto ao solo, como aos elementos vegetacionais, atuando na atenuação da temperatura do ar e superfície.

Quanto às condições térmicas mais elevadas, vão estacionar nas áreas que apresentam índice alto de área construída, na qual certamente utilizam-se de coberturas e pavimentos tradicionais, que não irão dispor características permeáveis, e possuindo uma alta capacidade calorífica de armazenar calor, transferindo este calor tanto para o solo abaixo dos pavimentos, tanto para os interiores das coberturas. Além deste condicionante, há uma redução da vegetação na cidade, que impede que tais superfícies se aqueçam.

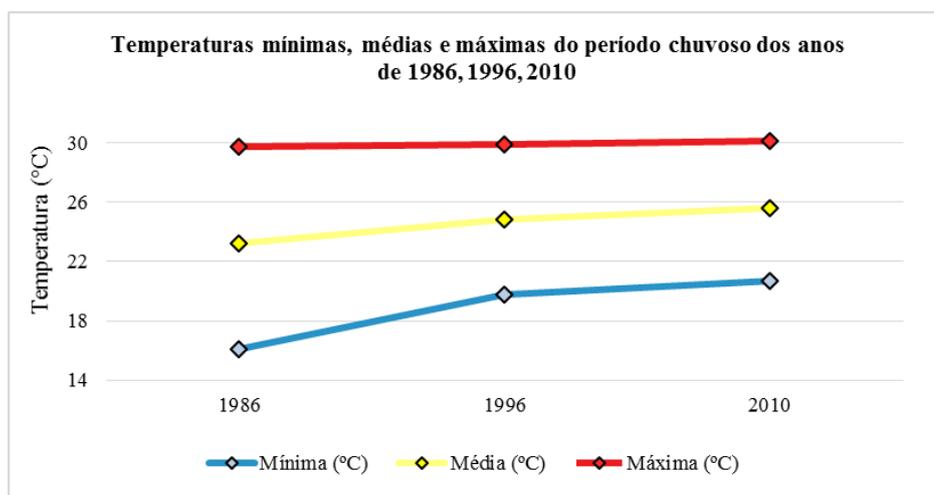
Pertencente à evolução das temperaturas mínimas, médias e máximas (Quadro 25 e 26 e Gráficos 19 e 20) ao longo dos anos de 1986, 1996 e 2010 e especializadas nos produtos cartográficos mostrados anteriormente, percebe-se, que esta obedeceu a uma ordem crescente no decorrer de 25 anos. Relativo o a evolução destas temperaturas, deixa-se a parte o fator sazonalidade e relaciona-se com a expansão urbana da cidade, tendo em vista que no período chuvoso o núcleo de calor principal se expande concomitantemente no correr dos anos, bem como no período seco que os núcleos de calor de menor proporção vão ficando mais expressivos.

Quadro 25 – Temperaturas mínimas, médias e máximas do período chuvoso dos anos de 1986, 1996, 2010

Ano	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)
1986	16,1	23,25	29,7
1996	19,79	24,83	29,9
2010	20,7	25,63	30,1

Fonte: Elaboração da autora.

Gráfico 19 – Evolução das mínimas, médias e máximas do período chuvoso nos anos de 1886, 1996 e 2010



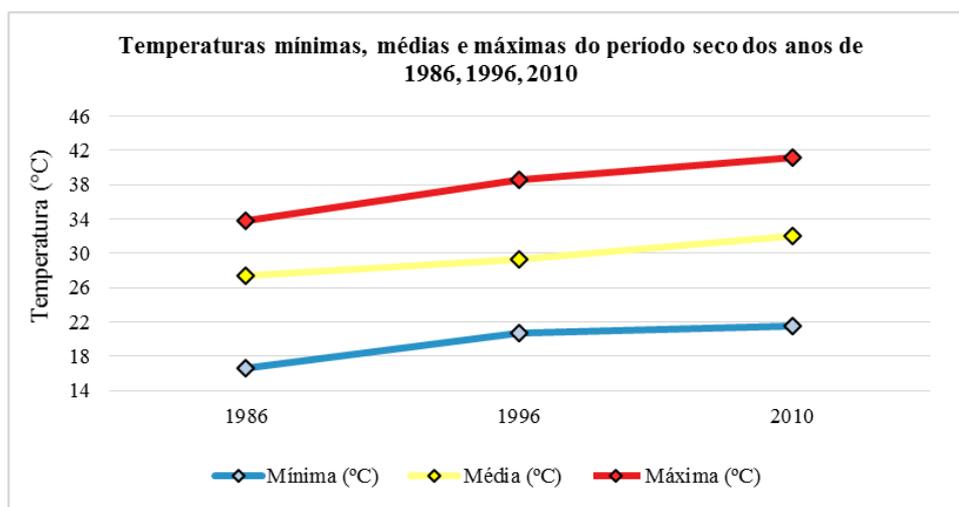
Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 26 – Temperaturas mínimas, médias e máximas do período seco dos anos de 1986, 1996, 2010

Ano	Mínima (°C)	Média (°C)	Máxima (°C)
1986	16,6	27,38	33,79
1996	20,7	29,25	38,5
2010	21,6	31,96	41,2

Fonte: Elaboração da autora.

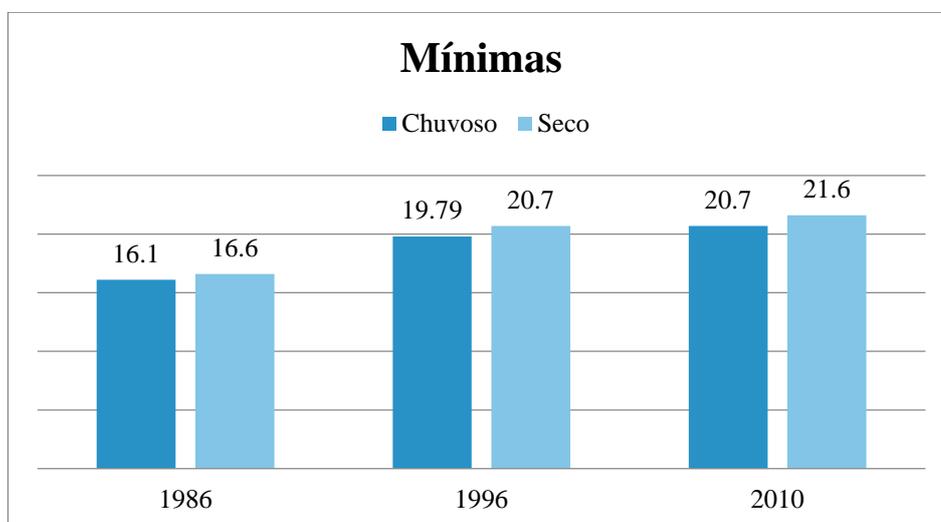
Gráfico 20 – Evolução das mínimas, médias e máximas do período seco nos anos de 1886, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Na ascensão das mínimas (Gráfico 21) detecta-se que no período chuvoso a mínima passou de 16,1 ° em 1886 para 19,79 °C em 1996, fechando com 21,6 °C em 2010. De 1886 para 1996 a amplitude fora de 5,5 °C e de 1996 para 2010 a diferença fora de 1,81 °C. No período seco de 1886 a temperatura de superfície mínima fora de 16,6 °C para 20,7 °C em 1996, e em 2010 esta estacionou-se 21,6 °C. A diferença entre 1886 para 1996 fora de 4,1 °C e de 1996 para 2010 fora de 0,9 °C. Nesta análise constatamos que tanto no período chuvoso, como no período seco a mínima teve valores crescentes e esta elevação expressou-se mais evidente no período chuvoso.

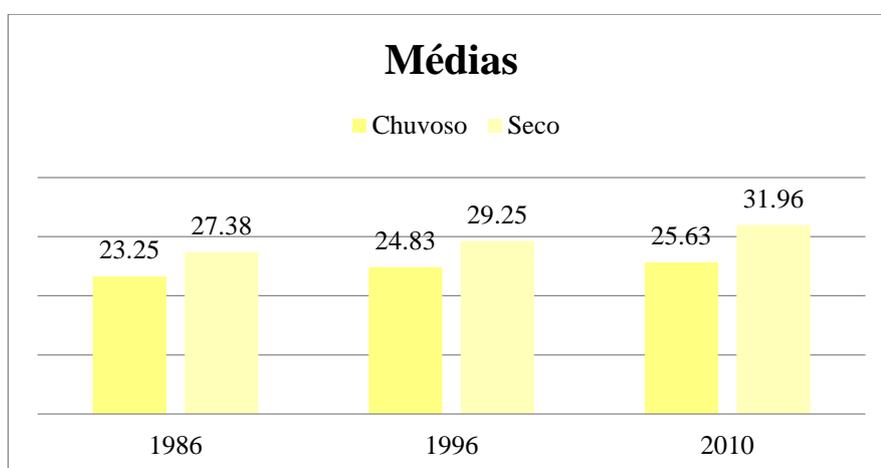
Gráfico 21 – Comportamento da temperatura mínima nos anos de 1886, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Na ascensão das médias (Gráfico 22), assim como nas mínimas averiguamos que no período chuvoso bem como no período seco a média aumenta e esta elevação expressou-se mais nitidamente no período chuvoso. No diagnóstico das médias detecta-se que no período chuvoso a t_{st} era de 23,25 °C em 1986 para 24,83 °C em 1996, fechando com 25,63 °C em 2010. Isso significa que de 1986 para 1996 a amplitude fora de 1,5 °C e de 1996 para 2010 a diferença fora de 0,8 °C. No período seco de 1986 a temperatura de superfície mínima fora de 27,38 °C para 29,25 °C em 1996, e em 2010 esta estacionou-se 31,96 °C. A diferença entre 1986 para 1996 fora de 1,8 °C e de 1996 para 2010 fora de 2,7 °C.

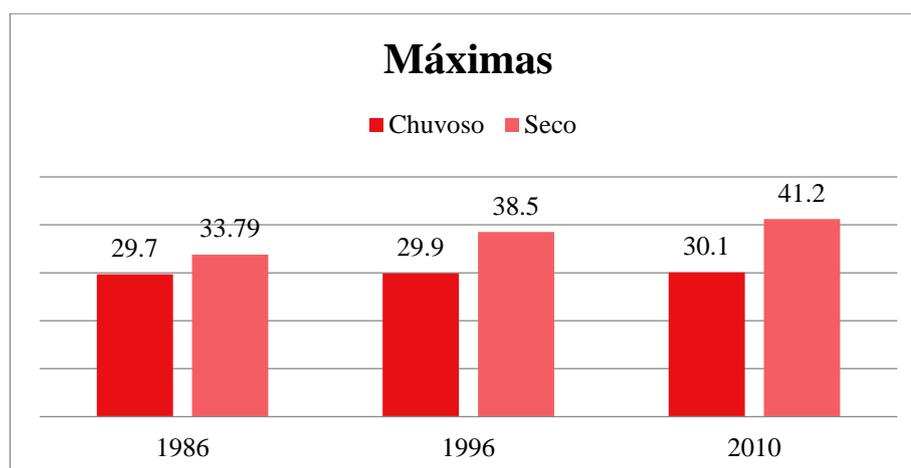
Gráfico 22 – Comportamento da temperatura média nos anos de 1986, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Quanto às máximas (Gráfico 23), no período chuvoso esta passou de 29,7 °C em 1986 para 29,9 °C em 1996, fixando nos 30,1 °C em 2010. As amplitudes de 1986 para 1996 fora de 0,2 °C e de 1996 para 2010 a diferença fora de 1,2 °C. No período seco de 1986 a temperatura de superfície mínima fora de 33,79 °C para 38,5 °C em 1996, e em 2010 esta estacionou-se 41,2 °C. A diferença entre 1986 para 1996 fora de 4,7 °C e de 1996 para 2010 fora de 2,7 °C.

Gráfico 23 – Comportamento da temperatura máxima nos anos de 1986, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Em termos gerais, a amplitude da menor temperatura de 1986 para maior temperatura para o mesmo ano fora de aproximadamente 17°C. A amplitude de 1986 a 2010 fora de 5,5°C para as temperaturas mínimas, 8,7 °C para as temperaturas intermediárias, e 11 °C para classe de maior valor.

8 A RELAÇÃO ILHA DE CALOR, VEGETAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO URBANA

8.1 A influência das superfícies naturais e urbanas na temperatura de superfície terrestre de Juazeiro do Norte

Identificado os núcleos de calor e os seus padrões de comportamento influenciados pela sazonalidade expressa no período seco e chuvoso, necessita-se compreender até que ponto as superfícies naturais (representados pela vegetação e superfícies líquidas) e as superfícies urbanas (pavimentos e coberturas) distribuídas no município irão atuar no gradual aumento ou diminuição da temperatura de superfície.

Para compreender este influxo, investigou-se o NDVI e os padrões de uso do solo. O NDVI consegue expressar o comportamento da vegetação, podendo apresentar ou não restrições hídricas, e expor ou não atividades fisiológicas e metabólicas. A distribuição dos usos no município compartimenta as características dispostas em classes, informando localização, como encontram-se agrupadas e sua possível relação com a temperatura de superfície.

8.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

A análise do comportamento da vegetação realizados através das imagens do sensor TM em 1986, 1996 e 2010 no período seco e chuvoso, delimitou as áreas que apresentam e não apresentam as atividades metabólicas e fisiológicas da vegetação no espaço que corresponde ao município de Juazeiro.

Em relação aos índices, não fora possível a compatibilização dos valores para definição de classes homogêneas para todos os anos e seus respectivos períodos, uma vez que os valores de NDVI para ambos os períodos mostrou-se heterogêneos. Logo definiu-se um padrão de classes homogêneo para os períodos seco e chuvoso.

No período chuvoso a nível municipal, os setores que correspondem as áreas com maior quantidade de vegetação em atividade dizem respeito às porções oeste, noroeste, centro-norte, nordeste e leste, estas porções apresentam características rurais com baixo índice de urbanização, posicionadas próximos aos limites dos municípios Crato, Caririaçu e Missão Velha. Além dos setores apresentados, nos anos de 1986 e 1996 há incidência de vegetação na plenitude de suas funções no setor sul, adjacente a divisa do município de Barbalha, e assim como as áreas rurais, as imediações referentes às drenagens que transpõem o município e cidade, dispõem de elevado índice vegetacional, estando associada a possível disponibilização hídrica a estes elementos.

Os espaços representados pela menor quantidade de vegetação metabolicamente e fisiologicamente ativa relacionam-se com os perímetros densamente urbanizados e de expansão urbana da cidade, além de setores que correspondem a solo desnudo no município. Este padrão acha-se relacionado a baixa densidade de vegetação encontrada na malha urbana, a exceção de algumas manchas encontradas, a exemplo do Parque Ecológico das Timbaúbas, ocupando uma área de aproximadamente 634 hectares, numa extensão de terra que permeia as drenagens do rio Salgadinho e Timbaúbas, ou podendo estar associada a alguns aglomerados vegetacionais na própria cidade.

A análise do NDVI no período seco demonstrou que a escassez hídrica repercutiu significativamente no comportamento da vegetação, tendo em vista que as classes referentes a menor quantidade vegetacional espalhou-se ao longo de todo território municipal, a exceção de algumas porções. Esta afirmativa encontra-se consolidada com base no tipo de vegetação que recobre este território, formada, sobretudo pela caatinga arbórea e mata seca, que em situação de déficit hídrico adapta-se, perdendo quase que totalmente seu dossel vegetativo.

As áreas a exceção destas características, recobrem os setores que englobam a Colina do Horto e as extensões de terra adjacentes às calhas dos rios Salgadinho e Timbaúba, bem como seus afluentes de menor porte.

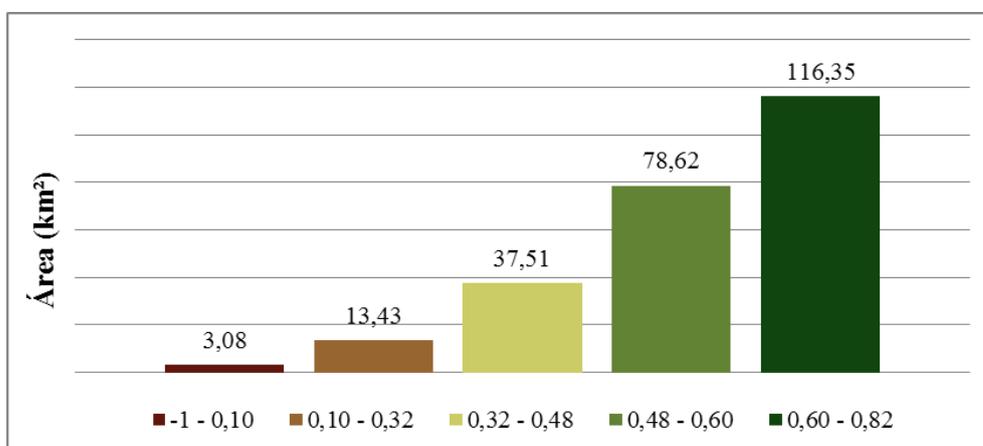
8.3 NDVI de 1986 (Período Chuvoso e Seco)

Referente às questões quantitativas disponibilizadas pelo cálculo do NDVI, observamos que as cinco classes representadas pelas tonalidades que variam de marrom a verde são encontradas no território municipal, sendo que os valores próximos a -1 correspondem as áreas com ausência vegetacional e os valores próximos de 1 relacionam-se as parcelas do espaço com presença de vegetação.

No período chuvoso (Gráfico 24 e Quadro 27) percebe-se que a classe que corresponde de -1 a 0,10 encontra-se quase que totalmente no perímetro urbano que no ano de 1986 ainda não apresentava-se tão expressivo como no ano de 2010 em termos de urbanização. Esta classe compreende 3,08 Km² ou 1% do território municipal.

A classe que varia de 0,10 a 0,32 congloera também áreas densamente urbanizadas e áreas de expansão urbana, bem como setores representados por solo desnudo, totalizando 13,43 Km² ou 5% do município. A classe entre 0,32 a 0,48 apresenta 37,41 Km² ou 15% da área, distribuindo-se além do perímetro urbano, em parcelas que podem estar associadas a uso agrícola. O intervalo referente de 0,48 a 0,60 equivale a 32% ou 78,62 Km² e acha-se inserido em setores rurais do município. No último intervalo de classe tem-se de 0,60 a 0,82, representado pelo valor mais próximo de 1, ou seja, maior incidência de vegetação, somando 116,35 Km² (47%).

Gráfico 24 – NDVI 1986 (Período chuvoso)



Fonte: Elaboração da autora.

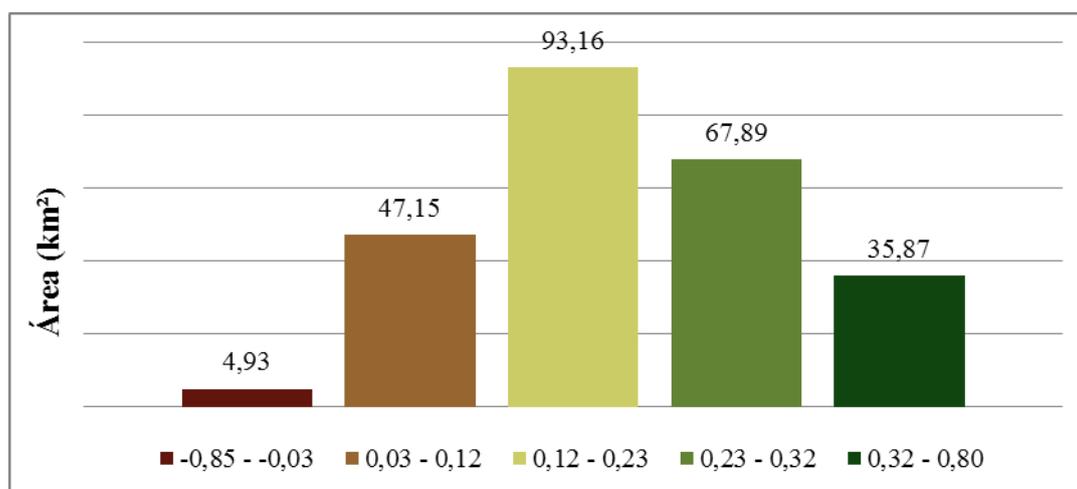
Quadro 27 – Área dos intervalos de classe do NDVI 1986 (Período chuvoso)

NDVI	1986 - Período Chuvoso	
	Km ²	%
-1 - 0,10	3,08	1%
0,10 - 0,32	13,43	5%
0,32 - 0,48	37,51	15%
0,48 - 0,60	78,62	32%
0,60 - 0,82	116,35	47%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

No período seco (Gráfico 25 e Quadro 28), como sabido, os intervalos de classe mais próximo a -1 encontram-se em maior área em relação ao período chuvoso, isso por que, como já fora explicada a vegetação predominantemente não encontram-se na plenitude de suas funções metabólicas. Em detrimento desta variável, que o intervalo -0,85 a 0,03 ocupa 4,93 Km² (2%) da área investigada. O intervalo 0,03 a 0,12 engloba 47,15 Km² (18,9%) da área do município. A classe 0,12 a 0,23 recobre a maior extensão territorial, somando 93,16 Km² (37,4%). Os valores mais próximos de 1 estão inseridos nas classes que variam de 0,23 a 0,32 (67,89 Km² ou 27,3%) e de 0,32 a 0,80, perfazendo 35,87 Km² (14,4 %) da área total. Os dois últimos intervalos de classe acham-se associados a presença de vegetação, situados sobretudo nas drenagens e setores na porção oeste do município.

Gráfico 25 – NDVI 1986 (Período seco)



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 28 – Área dos intervalos de classe do NDVI 1986 (Período seco)

NDVI	1986 - Período Seco	
	Km ²	%
-0,85 - -0,03	4,93	2,0%
0,03 - 0,12	47,15	18,9%
0,12 - 0,23	93,16	37,4%
0,23 - 0,32	67,89	27,3%
0,32 - 0,80	35,87	14,4%
Total	249,00	100%

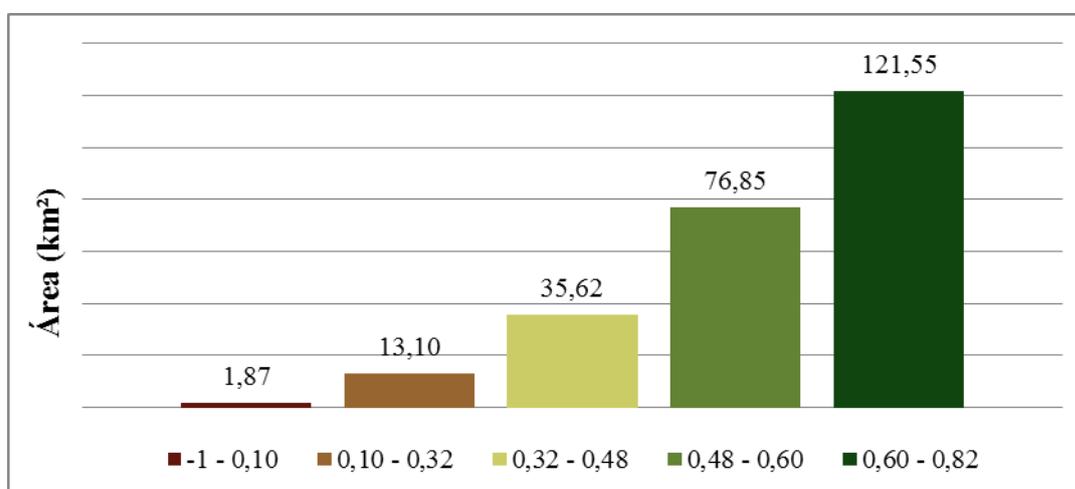
Fonte: Elaboração da autora.

8.4 NDVI de 1996 (Período chuvoso e seco)

No ano de 1996, bem como no ano de 1986 e seguidamente em 2010 observou-se o comportamento da vegetação distinto para cada período, sendo o período chuvoso mais abundante em termos de presença vegetacional, diminuindo efetivamente no período seco.

O período chuvoso de 1996 (Gráfico 26 e Quadro 29) teve em seus 4 primeiros intervalos de classe (-1 a 0,10/ 0,10 a 0,32/ 0,32 a 0,48/ 0,48 a 0,60) uma redução de sua área em relação ao ano anterior, a exceção do intervalo de classe que varia entre 0,60 a 0,82, tendo sua área acrescida. O intervalo mais próximo de -1 (-1 a 0,10) ocupou 1,87 Km² (1%), a classe intermediária (0,32 a 0,48) englobou 35,62 Km² (14%), e por fim, o intervalo próximo a 1 (0,60 a 0,82) totalizando 121,55 Km² (49%) da área municipal.

Gráfico 26 - NDVI 1996 (Período chuvoso)



Fonte: Elaboração da autora.

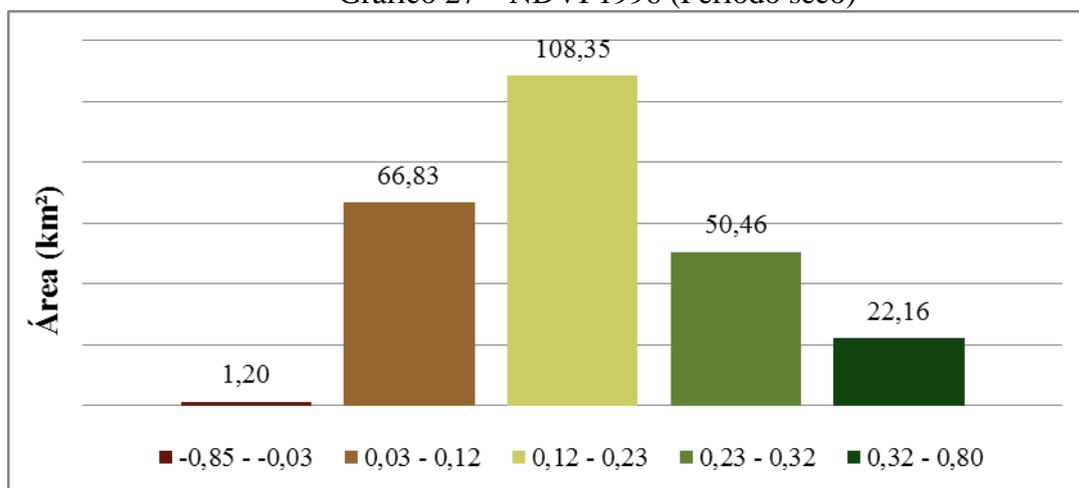
Quadro 29 - Área dos intervalos de classe do NDVI 1996 (Período chuvoso)

NDVI	1996 - Período Chuvoso	
	Km ²	%
-1 - 0,10	1,87	1%
0,10 - 0,32	13,10	5%
0,32 - 0,48	35,62	14%
0,48 - 0,60	76,85	31%
0,60 - 0,82	121,55	49%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

No período seco (Gráfico 27 e Quadro 30) tem-se apenas um intervalo de classe em que a área fora reduzida, representado pelo índice com a menor presença vegetacional (-0,85 a 0,03) somando 1,20 Km² (0,5%). Referente a classe intermediária (0,12 a 0,23) esta ocupa 108,35 Km² (43,5%), enquanto que a classe mais próxima a 1 (0,32 a 0,80) totaliza 22,16 Km² (8,9).

Gráfico 27 – NDVI 1996 (Período seco)



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 30 – Área dos intervalos de classe do NDVI 1996 (Período seco)

NDVI	1996 - Período Seco	
	Km ²	%
-0,85 - -0,03	1,20	0,5%
0,03 - 0,12	66,83	26,8%
0,12 - 0,23	108,35	43,5%
0,23 - 0,32	50,46	20,3%
0,32 - 0,80	22,16	8,9%
Total	249,00	100%

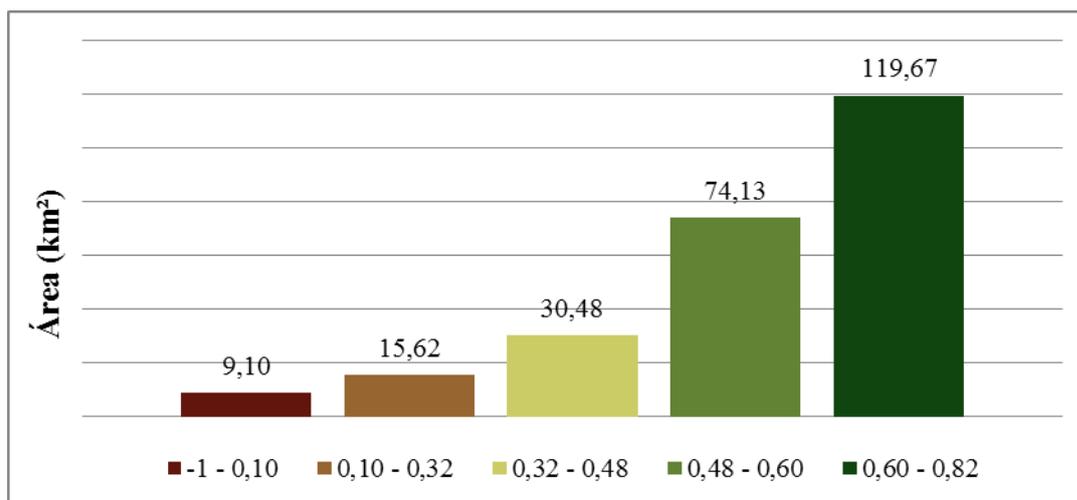
Fonte: Elaboração da autora.

8.5 NDVI de 2010 (Período chuvoso e seco)

Pertinente ao último ano investigado, tem-se no período chuvoso (Gráfico 28 e Quadro 31), sobretudo nos intervalos de classe próximos a -1 elevou-se em relação ao mesmo período de 1996 e 1986, representados por 9,10 Km² (4%) da classe que varia de -1 a 0,10 e 15,62 Km² (6%) do intervalo 0,10 a 0,32.

O intervalo intermediário para o período entre 0,32 a 0,48 ocupou 30,48 Km² (12%) da área que compreende o município, enquanto o intervalo próximo de 1 (0,60 a 0,82) compartimentou cerca de 119,67 Km² (48%) da área municipal.

Gráfico 28 – NDVI 2010 (Período chuvoso)



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 31 – Área dos intervalos de classe do NDVI 2010 (Período chuvoso)

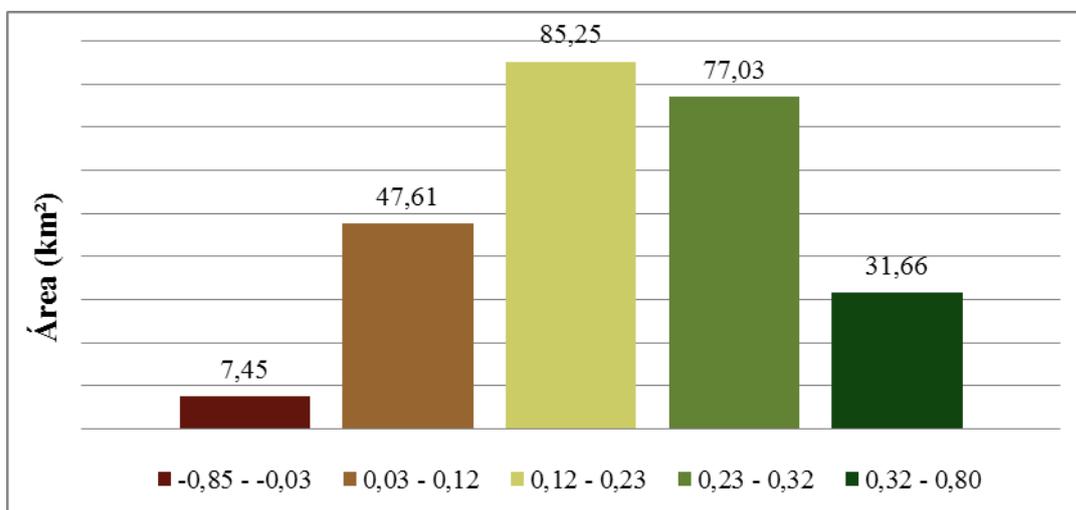
NDVI	2010 - Período Chuvoso	
	Km ²	%
-1 - 0,10	9,10	4%
0,10 - 0,32	15,62	6%
0,32 - 0,48	30,48	12%
0,48 - 0,60	74,13	30%
0,60 - 0,82	119,67	48%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

Pertinente ao período seco (Gráfico 29 e Quadro 32) tem-se 7,45 Km² (3%) do território referente ao intervalo de -0,85 a 0,03, enquanto que a classe intermediária (0,12 a 0,23) enquadra a área equivalente a 85,25 Km². E por fim, tem-se o intervalo com a maior presença de vegetação (0,32 a 0,80) com 31,66 Km².

Referente a classe que apresenta menor quantidade de vegetação, observou-se que em relação aos anos anteriores, esta acompanhou a expansão do perímetro urbano, atestando a utilização efetiva de materiais de estanque e a diminuição da vegetação.

Gráfico 29 – NDVI 2010 (Período seco)



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 32 – Área dos intervalos de classe do NDVI 2010 (Período seco)

NDVI	2010- Período Seco	
	Km ²	%
-0,85 - -0,03	7,45	3,0%
0,03 - 0,12	47,61	19,1%
0,12 - 0,23	85,25	34,2%
0,23 - 0,32	77,03	30,9%
0,32 - 0,80	31,66	12,7%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

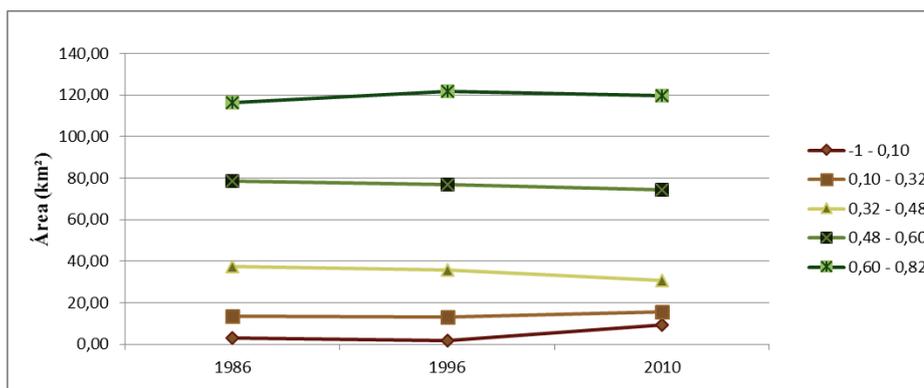
8.6 NDVI do período chuvoso de 1986, 1996 e 2010

Além do comportamento da vegetação frente à sazonalidade, faz-se necessário compreender a evolução ao longo dos anos estudados (1986, 1996 e 2010). No período chuvoso (Gráfico 30 e Quadro 33) no ano de 1986 para 1996 a classe que varia de -1 a 0,10 reduziu de 3,08 Km² (1%) para 1,87 Km² (1%), aumentando novamente sua área em 2010, somando 9,10 Km² (4%) e apresentando-se superior a 1986 e 1996. O índice que varia de 0,10 a 0,32 do ano de 1986 para 1996 tem-se uma diminuição de 13,43 Km² (5%) em 1986 para 13,10 Km² (5%) em 1996. Já em 2010 houve uma elevação na área em relação a 1996 e 1986, somando cerca de 15,62 Km² (12%).

Referente à compartimentação intermediária (0,32 a 0,48) esta reduziu de 37,51 Km² (15%) em 1986 para 35,62 Km² (14%) em 1996, apresentando um decréscimo novamente em 2010, totalizando 30,48 Km² (12%). O intervalo entre 0,48 a 0,60 apresenta 78,62 Km² (32%) em 1986, diminui para 76,85 Km² (31%) em 1996 e reduz novamente para 74,13 Km² (30%) em 2010.

Por fim, a última classe (0,60 a 0,82) relacionada a área de maior incidência de vegetação ativa, dispõe de 116,35 Km² (74%) em 1986, eleva-se para 121,55 Km² (49%) em 1996 e reduz-se para 119,67 Km² (48%) em 2010.

Gráfico 30 – Evolução da área dos intervalos de classe do NDVI do período chuvoso de 1986, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 33 – Área das classes do NDVI do período chuvoso para 1986, 1996 e 2010

NDVI PERÍODO CHUVOSO □						
NDVI	1986		1996		2010	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%
-1 - 0,10	3,08	1%	1,87	1%	9,10	4%
0,10 - 0,32	13,43	5%	13,10	5%	15,62	6%
0,32 - 0,48	37,51	15%	35,62	14%	30,48	12%
0,48 - 0,60	78,62	32%	76,85	31%	74,13	30%
0,60 - 0,82	116,35	47%	121,55	49%	119,67	48%
Total	249,00	100%	249,00	100%	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

8.7 NDVI do período seco de 1986, 1996 e 2010

Em relação à estação seca (Gráfico 31 e Quadro 34), percebeu-se a espacialização da área dos intervalos de classes gerados. De 1986 para 1996 a classe que varia de -0,85 a 0,03 reduziu de 4,93 Km² (2%) para 1,20 Km² (0,5%), aumentando novamente sua área em 2010, somando 7,45 Km² (3%) e apresentando-se superior a 1986 e 1996.

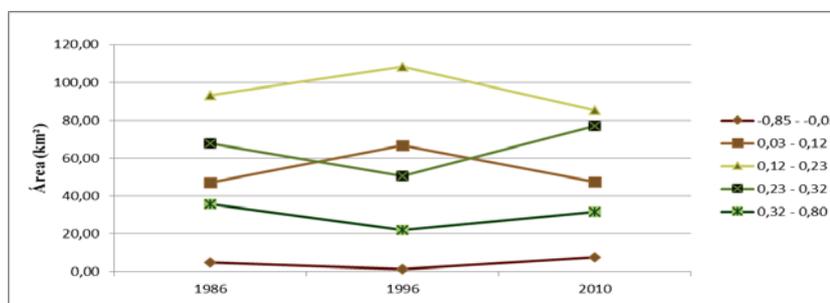
Do índice que varia de 0,03 a 0,12 do ano de 1986 para 1996 tem-se um acréscimo de 47,15 Km² (18,9%) em 1986 para 66,83 Km² (26,8%) em 1996. Já em 2010 houve uma queda na área em relação a 1996, somando apenas 47,61 Km² (19%).

Referente à compartimentação intermediária (0,12 a 0,23) esta elevou-se de 93,16 Km² (37,4% em 1986 para 108,35 Km² (43,5%) em 1996, apresentando um decréscimo em 2010, totalizando 85,25 Km² (34%). O intervalo entre 0,23 a 0,32 apresenta 67,89 Km² (27,3%) em 1986, diminui para 50,46 Km² (20,3%) em 1996 e aumenta para 77,03 Km² (31%) em 2010.

Por fim, a última classe (0,32 a 0,80) relacionada a área de maior incidência de

vegetação ativa, dispõe de 35,87 Km² (14,4%) em 1986, diminui para 22,16 Km² (8,9%) em 1996 e eleva-se novamente para 31,66 Km² (13%) em 2010.

Gráfico 31 – Evolução da área dos intervalos de classe do NDVI do período seco de 1986, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

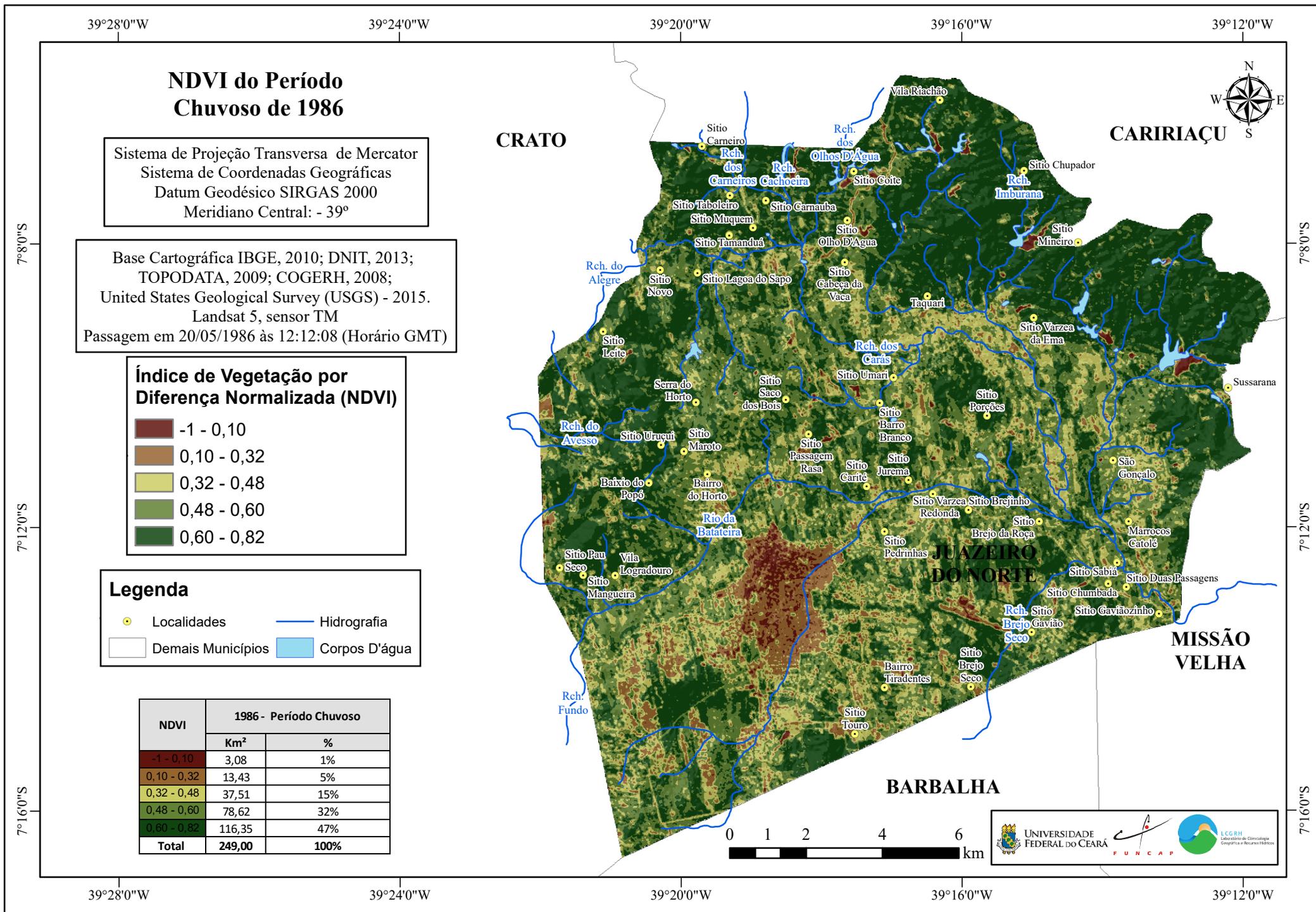
Quadro 34 – Área das classes do NDVI do período seco para 1986, 1996 e 2010

NDVI	NDVI PERÍODO SECO					
	1986		1996		2010	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
-0,85 - -0,03	4,93	2,0%	1,20	0,5%	7,45	3%
0,03 - 0,12	47,15	18,9%	66,83	26,8%	47,61	19%
0,12 - 0,23	93,16	37,4%	108,35	43,5%	85,25	34%
0,23 - 0,32	67,89	27,3%	50,46	20,3%	77,03	31%
0,32 - 0,80	35,87	14,4%	22,16	8,9%	31,66	13%
Total	249,00	100%	249,00	100,0%	249,00	100%

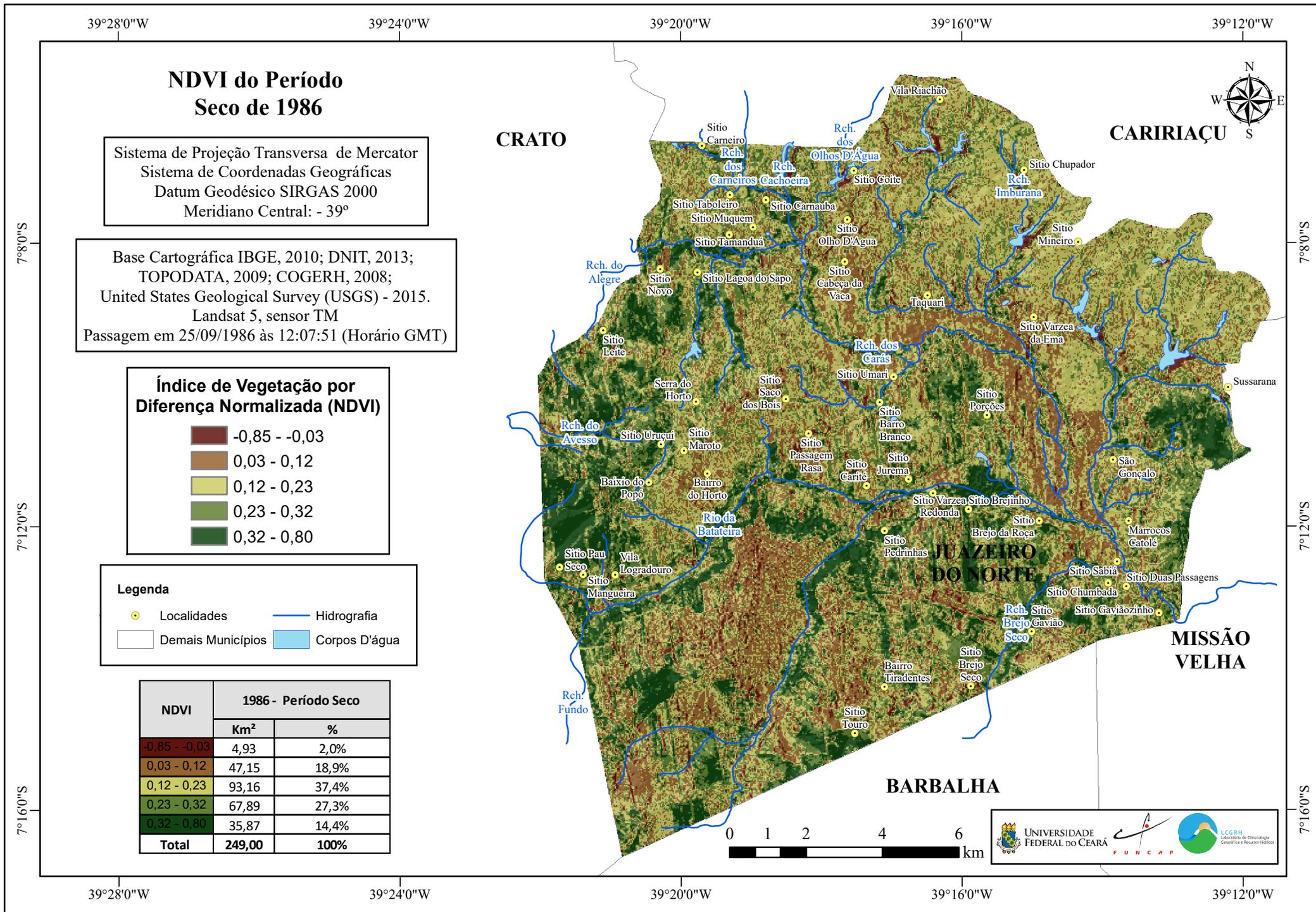
Fonte: Elaboração da autora.

Com a análise do índice de vegetação por diferença normalizada ao longo dos anos (Mapas 11, 12, 13, 14, 15 e 16) percebeu-se que no período chuvoso, bem como no período seco as classes próximas a -1 encontraram-se estacionadas no perímetro urbano do município. Percebe-se ainda, que no decorrer dos anos, esta classe acompanhou o comportamento da expansão urbana da cidade.

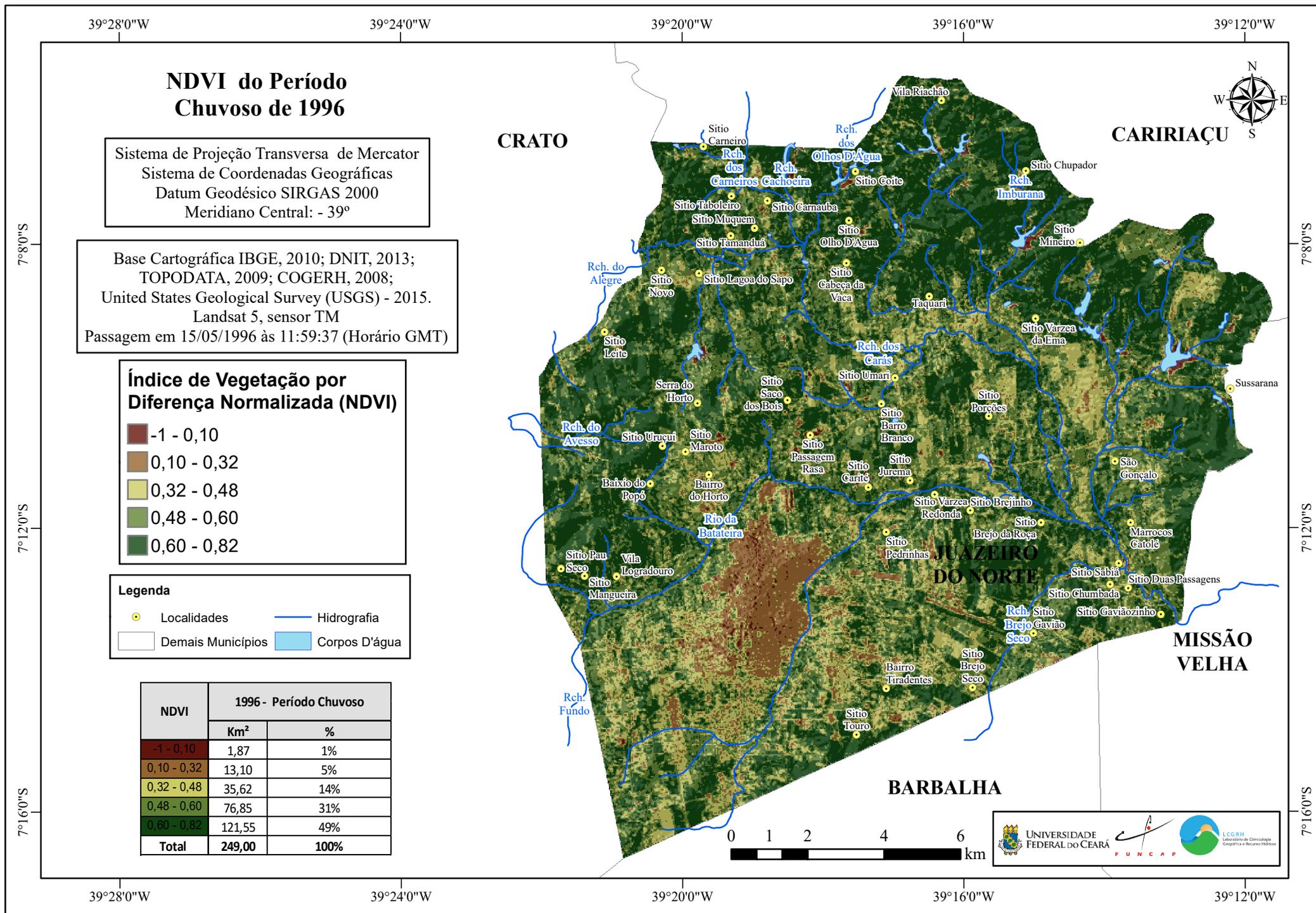
A partir deste comportamento, podemos afirmar que a partir da extração de temperatura de superfície terrestre e da extração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para os mesmos anos e a correlação destas informações, atestou-se que os núcleos de calor posicionam-se exatamente sobre as áreas com menor índice de vegetação.



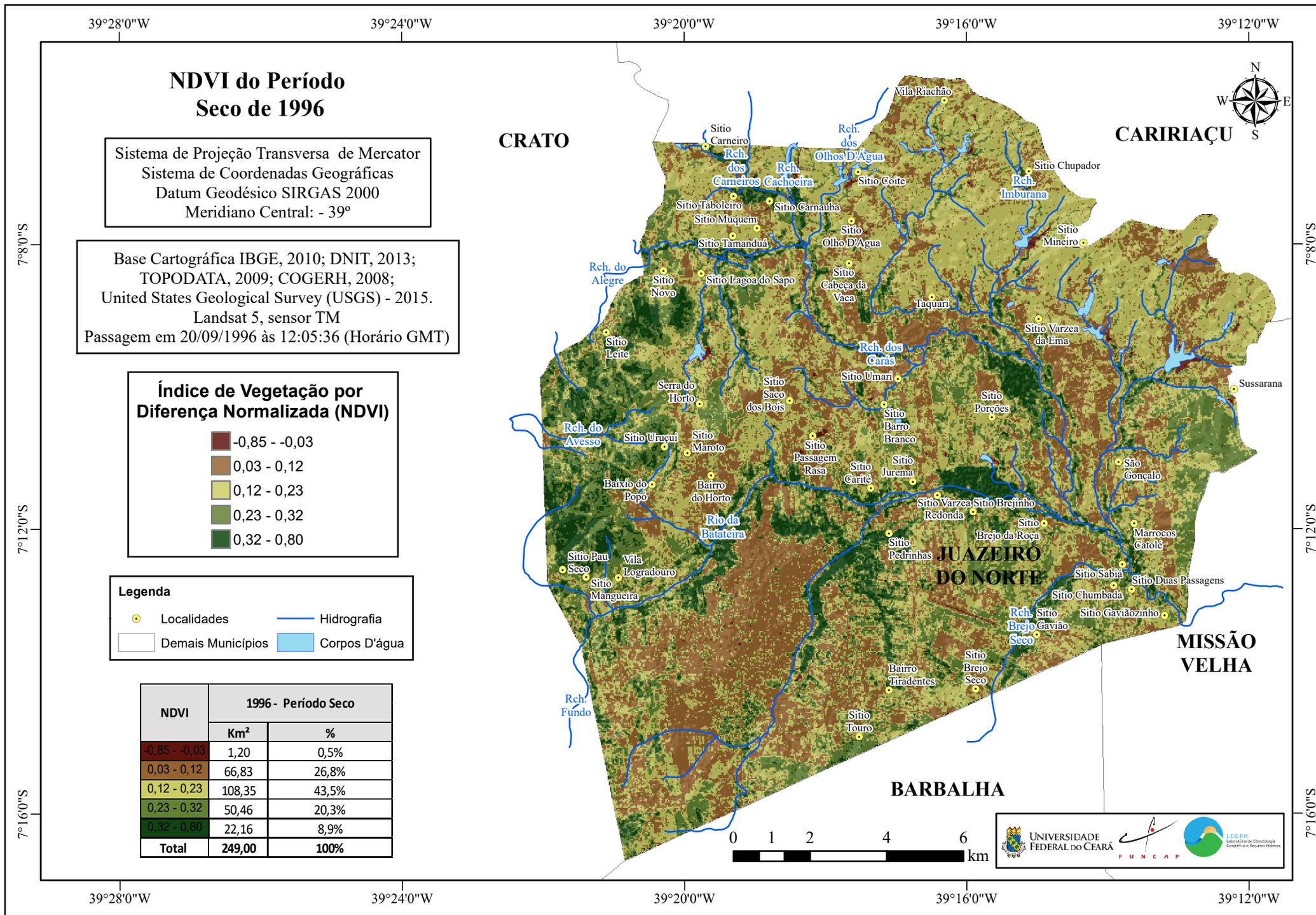
Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



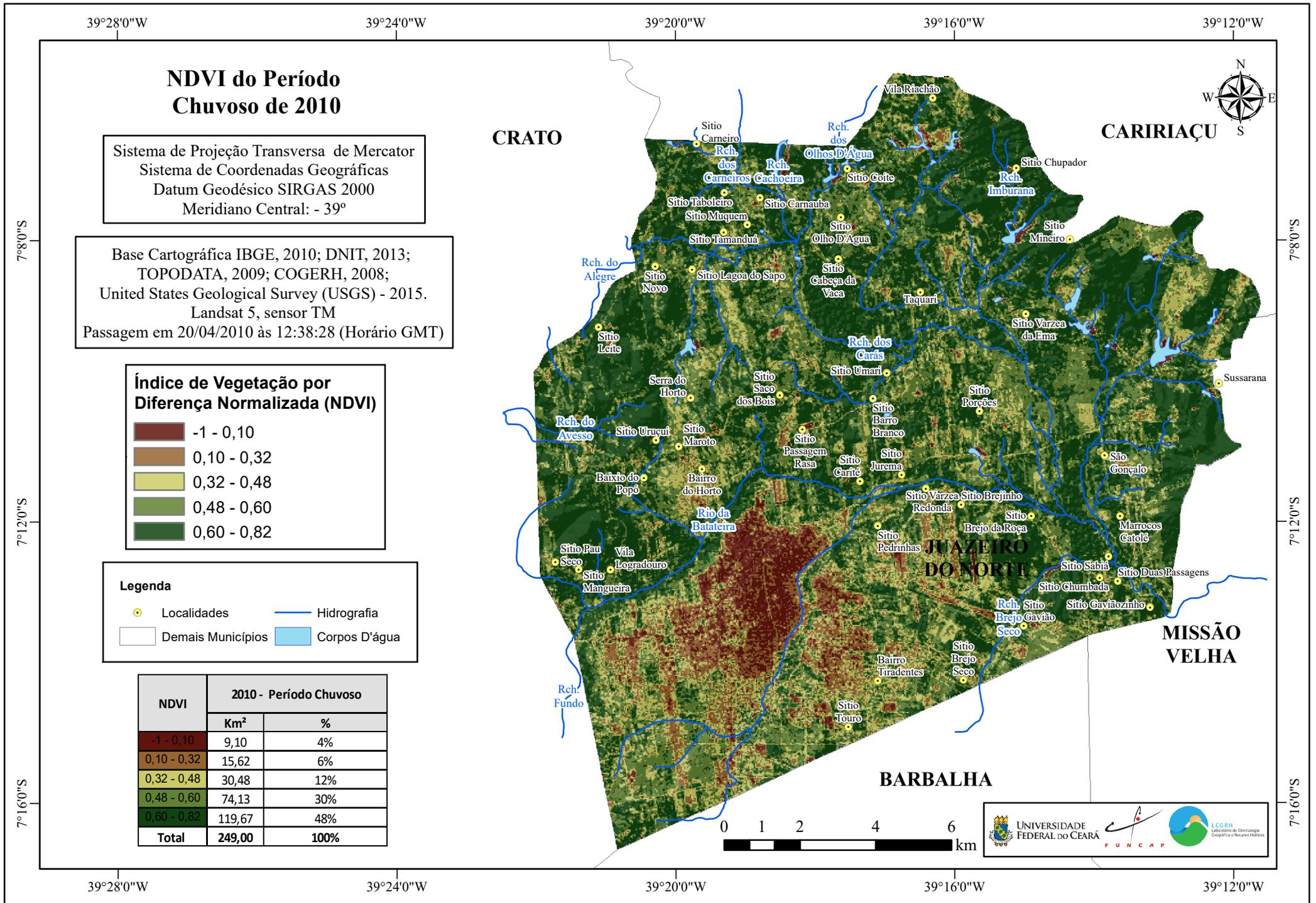
Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



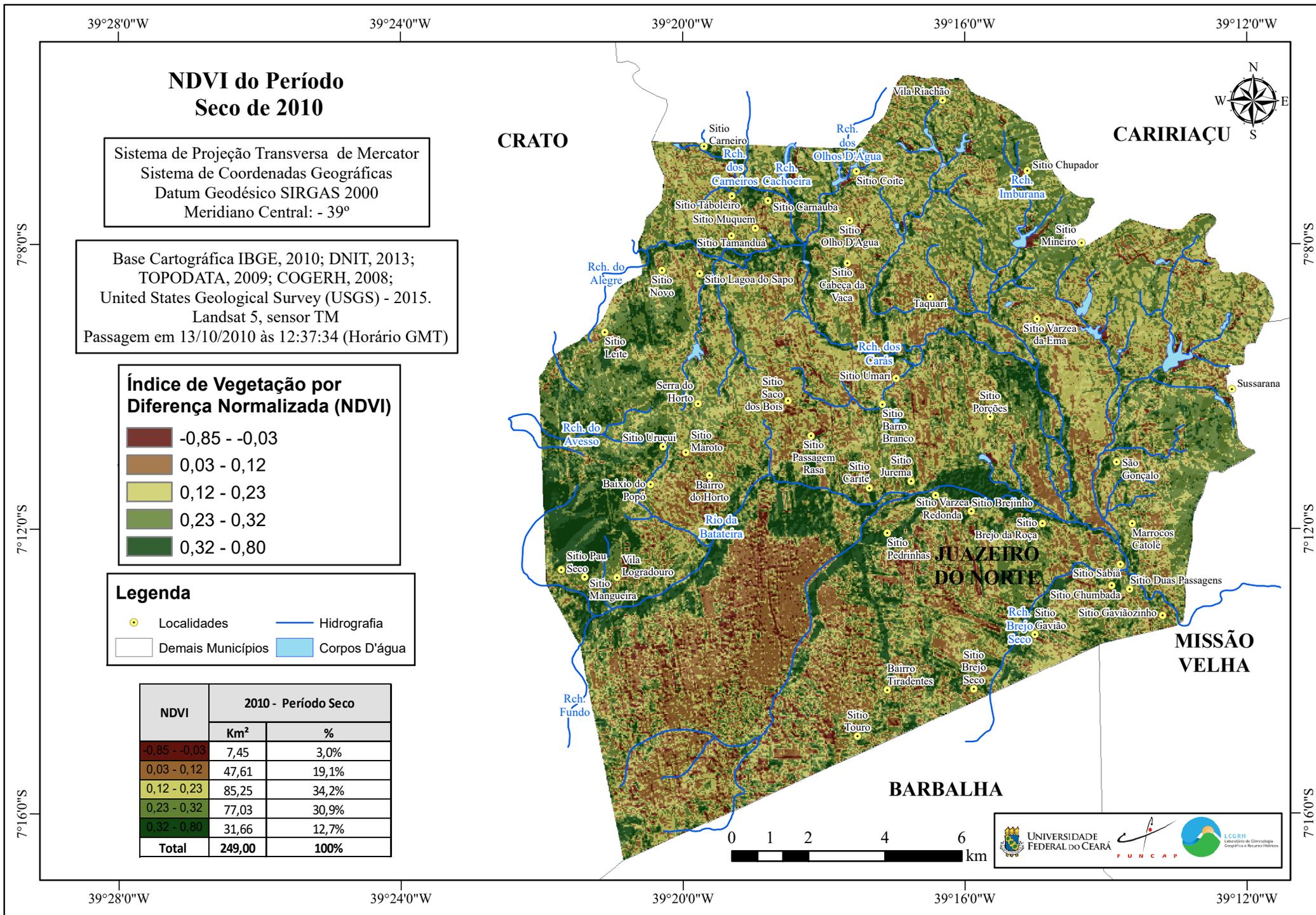
Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

8.8 Uso do solo em Juazeiro do Norte nos anos de 1986, 1996 e 2010

No que concerne o mapeamento dos usos no município de Juazeiro do Norte (Gráfico 32), foram conglomeradas oito classes, sendo: área urbana consolidada, zona de expansão urbana, área não urbanizada e/ou agrícola, solo exposto, vegetação primária, vegetação secundária, vegetação associada a cursos d'água e superfícies líquidas.

No ano de 1986 (Quadro 35 e Mapa 17), observou-se que o polígono que representa a área urbana consolidada encontra-se no setor sudeste e aparece pouco representativo em questões territoriais, somando apenas 18,27 Km² (7%). Seguidamente, tem-se a zona de expansão urbana, localizando-se na porção sudoeste, sul e sudeste, dispondo-se em alguns setores de forma contígua a classe anterior, expondo uma área inferior à primeira (11,08 Km² ou 4%). A classe de área não urbanizada e/ou agrícola aparece como segundo mais presente no município, situando-se mais ao leste, centro-norte e oeste. Esta classe encontra-se para o ano estudado como uma classe expressiva, tendo em vista que compõe 64,22 Km² (26%) da área municipal. Os polígonos que representam o solo desnudo no município dispuseram um padrão aleatório ao longo do município e não apresentaram expressividade territorial, somando apenas 11,43 Km² (5%). Algumas das classes referentes a superfícies naturais expuseram o maior percentual territorial para o ano, somando 78,99 Km² (32%) para a classe de vegetação primária, 35,66 Km² (14%) para vegetação secundária e 25,92 Km² (10%) para vegetação associada a cursos d'água. Ainda inserido nas classes voltadas às superfícies naturais estão as superfícies líquidas que somou o menor valor em área, apenas 3,43 Km² (1%).

No ano de 1996 (Quadro 36 e Mapa 18) passados dez anos, percebe-se uma redução das classes outrora mais significativas. A vegetação primária que antes cobria 78,99 Km² (32%) passa para 54,13 Km² (22%), a vegetação secundária reduz de 35,66 (14%) para 25,18 Km² (10%) e nas áreas de vegetação associada a cursos d'água tem-se 25,92 Km² (10%) para 18,03 Km² (7%). Estas classes encontram-se situadas de forma mais dispersa em relação ao ano de 1986 em setores que ainda compreende áreas de franjas urbanas.

Em contrapartida, as classes que representam a área urbana consolidada (de 18,27 Km² para 26,13 Km²), zona de expansão urbana (de 11,08 Km² para 18,02 Km²), área não urbanizada e/ou agrícola (de 64,22 Km² para 84,98 Km²) e solo exposto (de 11,43 Km² para 19,11 Km²) apresentam um acréscimo efetivo. Neste mapeamento do uso percebe-se que classes que em 1986 representavam a expansão urbana da cidade, em 1996 enquadram-se

como áreas de urbanização consolidada.

Pertinente à classe de superfícies líquidas, esta não recebeu interferências que o fizessem mudar efetivamente, haja vista que sua área permaneceu no mesmo valor, 3,43 Km² (1%).

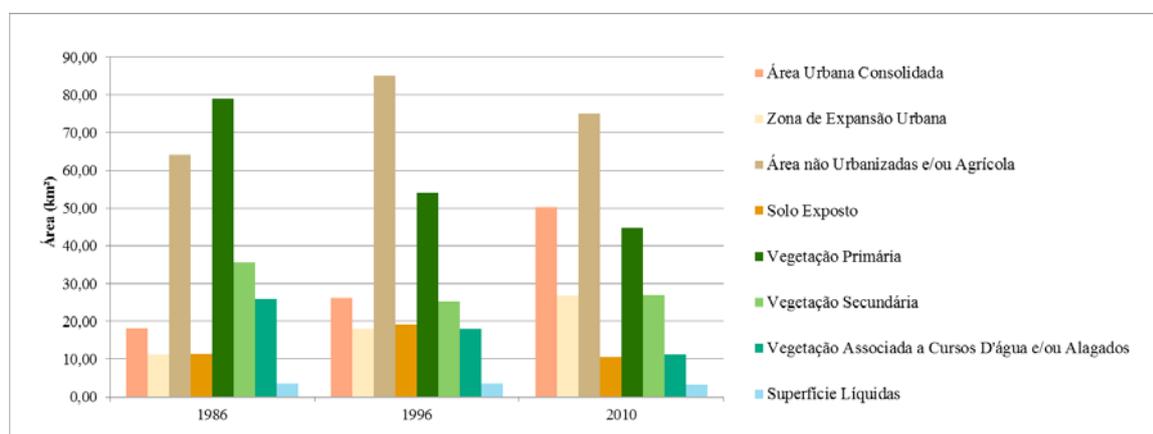
No ano de 2010 (Quadro 37 e Mapa 19) verificou-se que o mapeamento do uso de Juazeiro tornou-se menos fragmentado, a exemplo dos anos anteriores. As classes que representam os ambientes naturais sofreu uma redução notável, a exemplo da vegetação primária (78,99 Km² em 1986, 54,13 Km² em 1996 e 44,82 Km² em 2010), vegetação associada a cursos d'água (25,92 Km² em 1986, 18,03 Km² em 1996 e 11,17 Km² em 2010) e até mesmo a classe de superfícies líquida (3,43 Km² em 1986, 3,43 Km² em 1996 e 3,34 Km² em 2010).

Quanto à vegetação secundária (35,66 em 1986, 25,18 em 1996 e 27,03 Km² em 2010), esta não obedeceu à progressão apresentada pelos outros intervalos de classes de ambiente naturais, que ao longo do ano de 2010 só apresentaram decréscimo.

Referente às classes que apreende maior quantidade de material construído, estas detêm incremento formidável, podendo ser detectada apenas com uma análise visual e comparativa entre os anos (1986, 1996 e 2010) do mapeamento do uso do solo. Na classe de área urbana consolidada apresenta 50,34 Km² (20%) da área municipal, enquanto que a zona de expansão urbana, em grande parcela adjacente a classe anterior somou 26,84 Km² (11%).

O polígono que traduz a área não urbanizada e/ou agrícola ocupou no ano de 2010 a maior extensão territorial, perfazendo 74,99 Km² ou 30% do território juazeirense. Enquanto que o polígono representado pelo solo exposto, frente aos anos anteriores dispôs de uma redução, totalizando 10,48 Km² ou 4 %.

Gráfico 32 – Distribuição em Km² das classes de uso do solo de Juazeiro do Norte em 1986, 1996 e 2010



Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 35 – Distribuição das áreas em Km² e % do mapeamento do uso de Juazeiro do Norte no ano de 1986

1986		
Clase	km ²	%
Área Urbana Consolidada	18,27	7%
Zona de Expansão Urbana	11,08	4%
Área não Urbanizadas e/ou Agrícola	64,22	26%
Solo Exposto	11,43	5%
Vegetação Primária	78,99	32%
Vegetação Secundária	35,66	14%
Vegetação Associada a Cursos D'água e/ou Alagados	25,92	10%
Superfície Líquidas	3,43	1%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 36 – Distribuição das áreas em Km² e % do mapeamento do uso de Juazeiro do Norte no ano de 1996

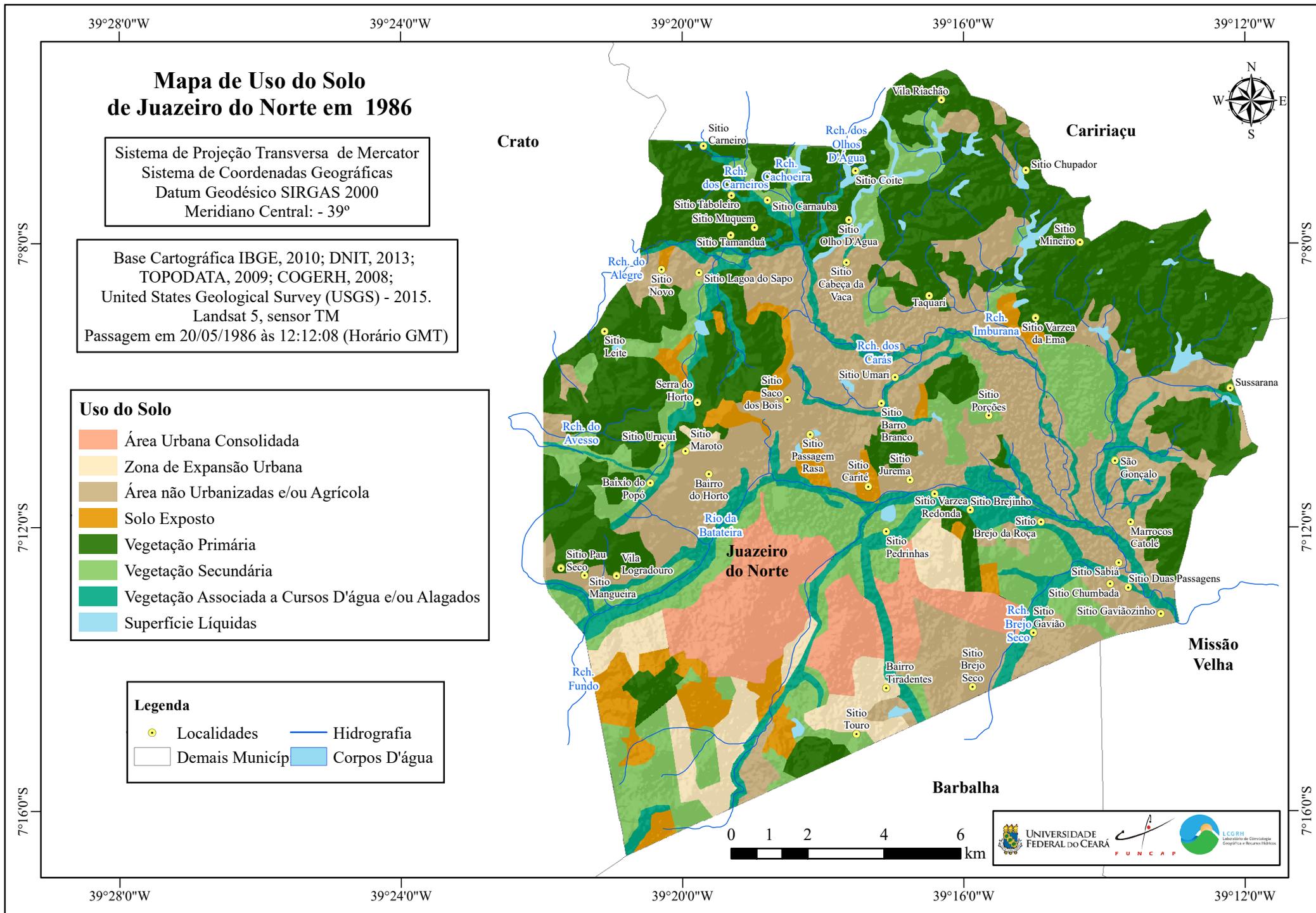
1996		
Clase	km ²	%
Área Urbana Consolidada	26,13	10%
Zona de Expansão Urbana	18,02	7%
Área não Urbanizadas e/ou Agrícola	84,98	34%
Solo Exposto	19,11	8%
Vegetação Primária	54,13	22%
Vegetação Secundária	25,18	10%
Vegetação Associada a Cursos D'água e/ou Alagados	18,03	7%
Superfície Líquidas	3,43	1%
Total	249,00	100%

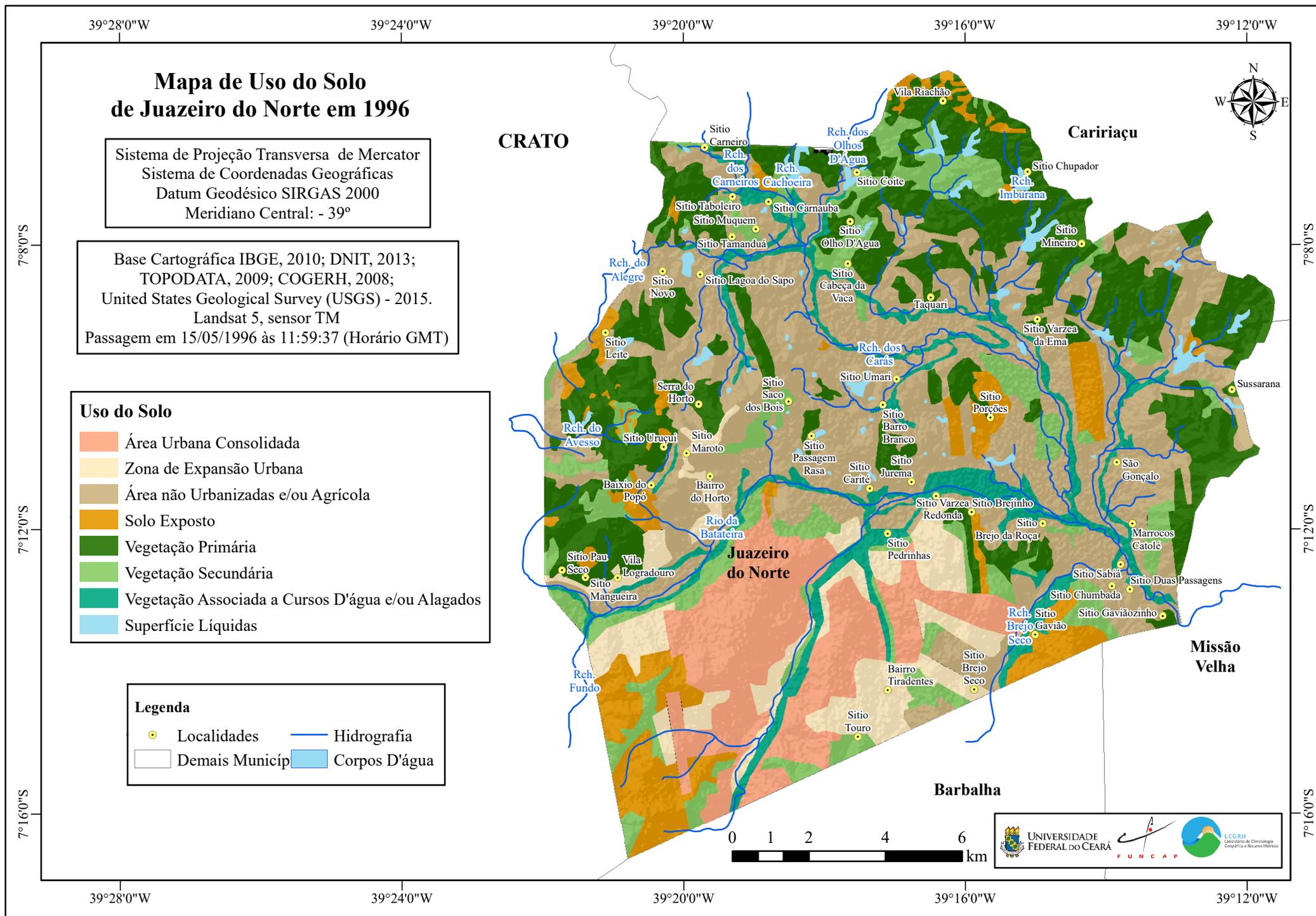
Fonte: Elaboração da autora.

Quadro 37 – Distribuição das áreas em Km² e % do mapeamento do uso de Juazeiro do Norte no ano de 2010

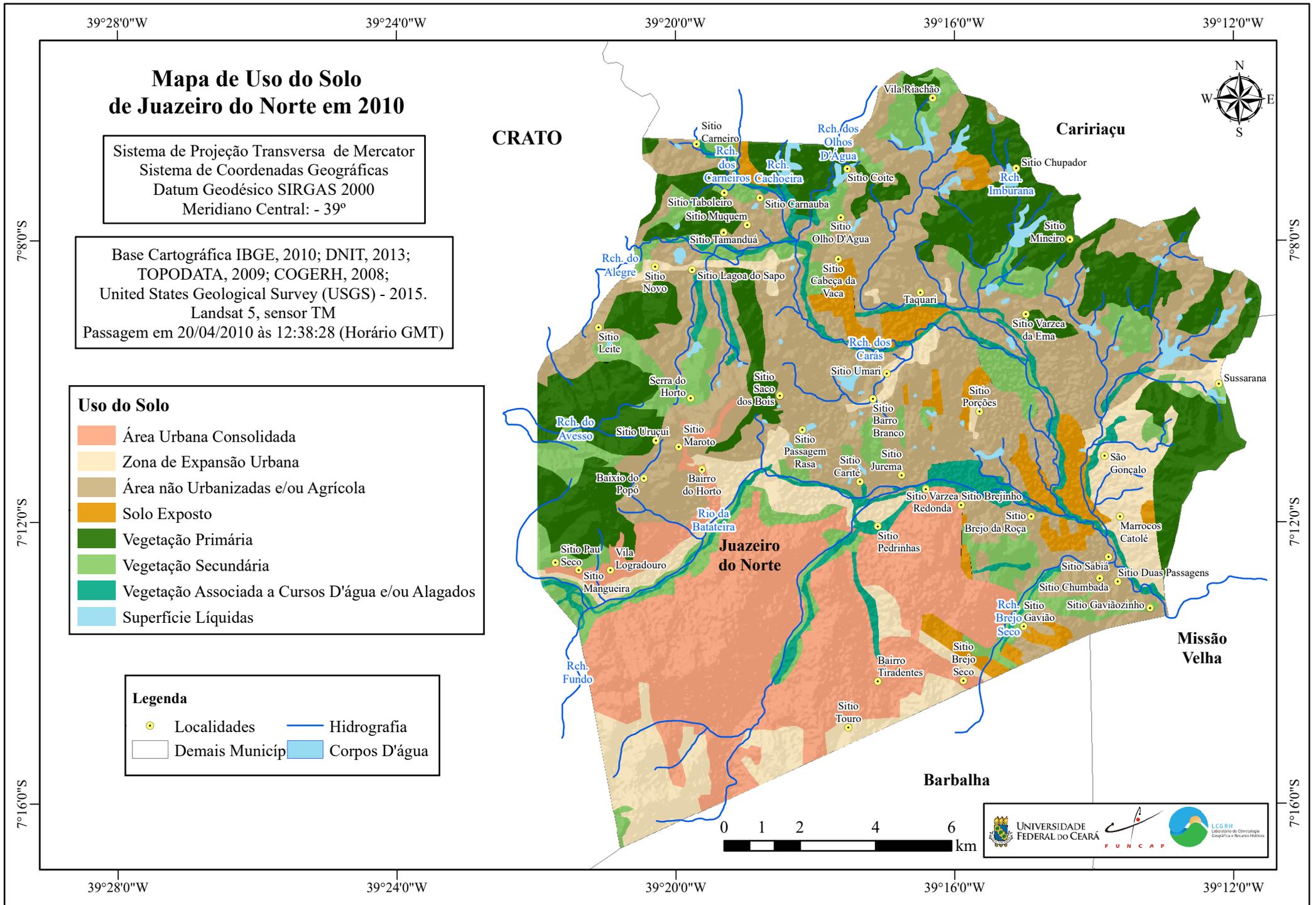
2010		
Clase	km ²	%
Área Urbana Consolidada	50,34	20%
Zona de Expansão Urbana	26,84	11%
Área não Urbanizadas e/ou Agrícola	74,99	30%
Solo Exposto	10,48	4%
Vegetação Primária	44,82	18%
Vegetação Secundária	27,03	11%
Vegetação Associada a Cursos D'água e/ou Alagados	11,17	4%
Superfície Líquidas	3,34	1%
Total	249,00	100%

Fonte: Elaboração da autora.





Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

8.9 Perfil Longitudinal das Ilhas de Calor em Juazeiro do Norte no ano de 2010

O desenvolvimento dos perfis longitudinais e mapas de detalhe (Mapas 20 e 21 e Gráficos 33, 34 e 35) possibilitou compreender o comportamento da temperatura de superfície terrestre na cidade de Juazeiro do Norte frente aos diferentes usos e os tipos de superfícies ou materiais associados aos mesmos.

Nesta análise, enquadraram-se apenas o ano de 2010, no período chuvoso e seco, para demonstrar algumas superfícies presentes no município e sua variação de temperatura superficial.

Os perfis contemplaram, sobretudo o setor sudoeste, onde concentra grande parte da cidade analisada. Os traçados destes perfis de temperatura iniciam no ponto A e encerra-se no ponto B, contemplando no total cinco classes identificadas no mapeamento do uso do solo, sendo vegetação primária e secundária, vegetação associada a cursos d'água, área de expansão urbana e área de urbanização consolidada, totalizando a distância de 10 km.

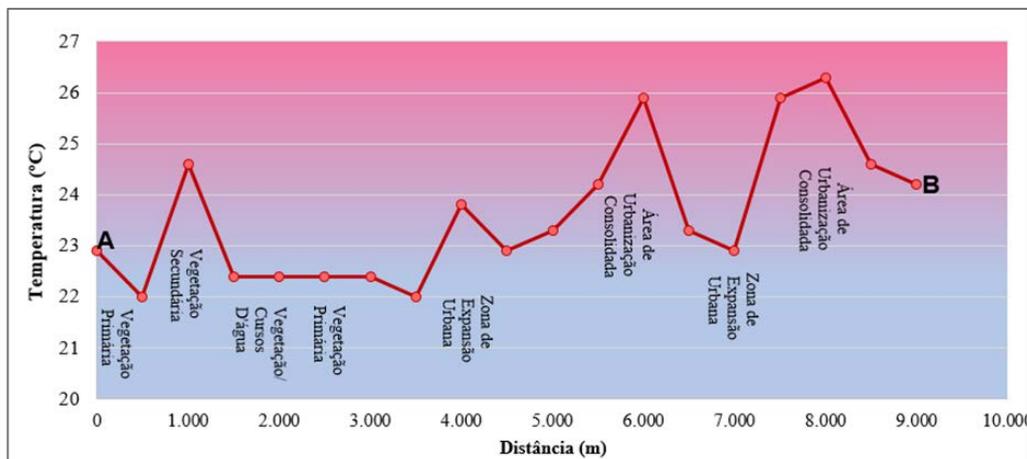
No período chuvoso de 2010 (Gráfico 33 e Mapa 20), a amplitude registrada fora de 9,4 °C, tendo como base a maior (30,1 °C) e a menor (15 °C) temperatura de superfície coletada pelo sensor. Inserido neste intervalo, os valores mais amenos registrados pelo perfil longitudinal estão associados a temperaturas que giram em torno de 22 °C, 23 °C e 24 °C correspondente as classes representado pela vegetação primária, secundária e vegetações associadas a cursos d'água, localizadas próximo ao ponto inicial (A), nesse caso sendo representado pelo Rio Salgadinho e seus afluentes e vegetação adjacentes que dispõem de umidade suficiente para realizar a transferência de calor a partir da evaporação/evapotranspiração, justificando assim as temperaturas de superfície mais aprazíveis.

À medida que o traçado avança em direção ao perímetro urbano, o perfil tende a aumentar, alcançando o pico de 24 °C, estando ligados a classe de expansão urbana, sinalizando o aumento da utilização de superfícies artificiais que em contrapartida, também apresentam uma diminuição referente a elementos naturais favoráveis a atenuação da temperatura.

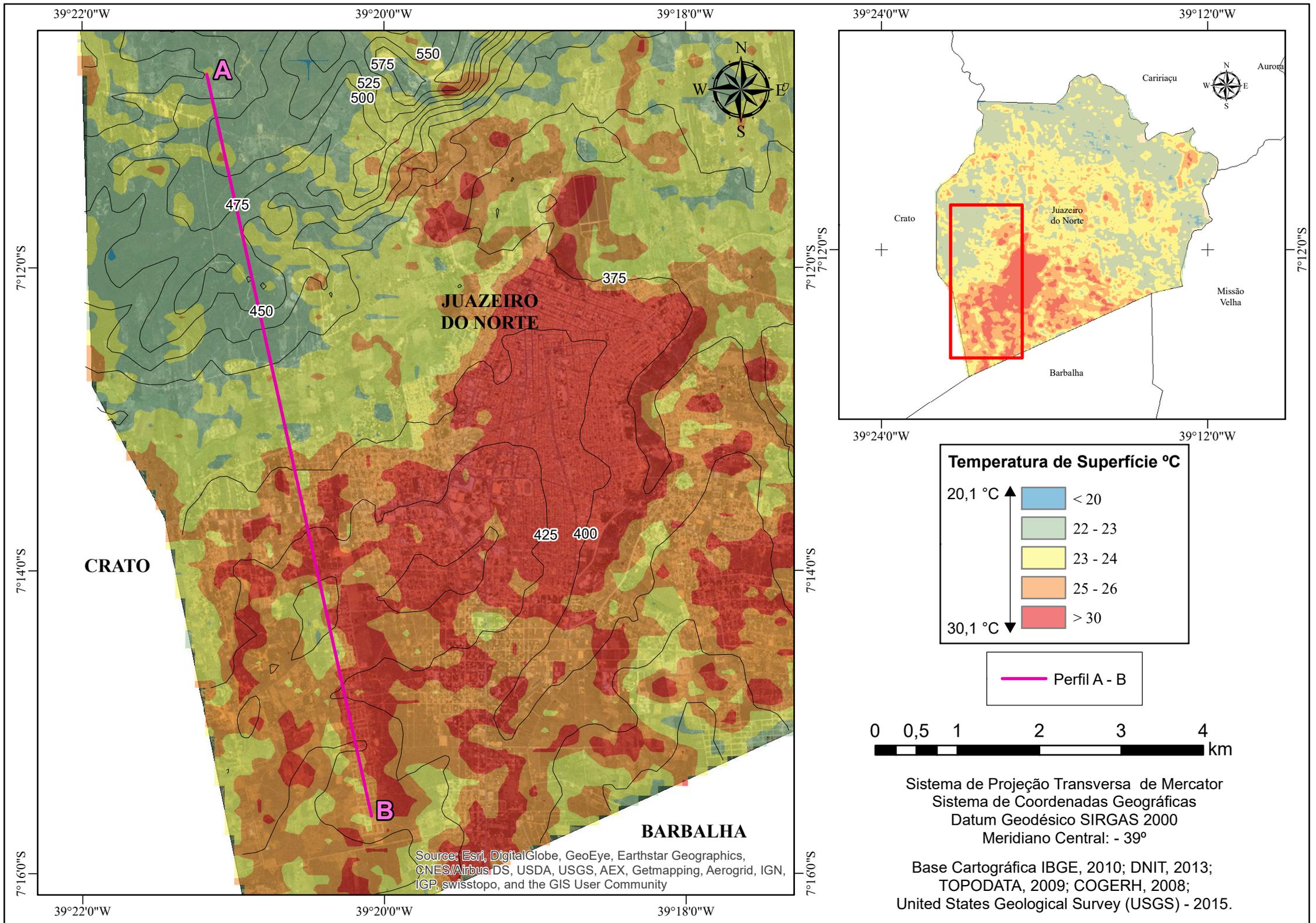
O pico mais significativo para o período chuvoso do ano de 2010 remete 26,2 °C, intrinsecamente ligado ao setor da cidade denominado como urbanização consolidada (áreas residenciais, comerciais e industriais), formado por uma infinidade de superfícies quentes, como os pavimentos (concreto e asfalto) e telhados (escuros, metálicos) e que não apresentam em suas propriedades físicas umidade suficiente ou outro mecanismo para

transferir o calor que atinge essas superfícies, aprisionando-os e elevando a temperatura do objeto. Além desta negativa, a diminuição da área vegetal, juntamente com as drenagens, formam núcleos de calor expressivos.

Gráfico 33 – Perfil longitudinal do período chuvoso de 2010



Fonte: Elaboração da autora.

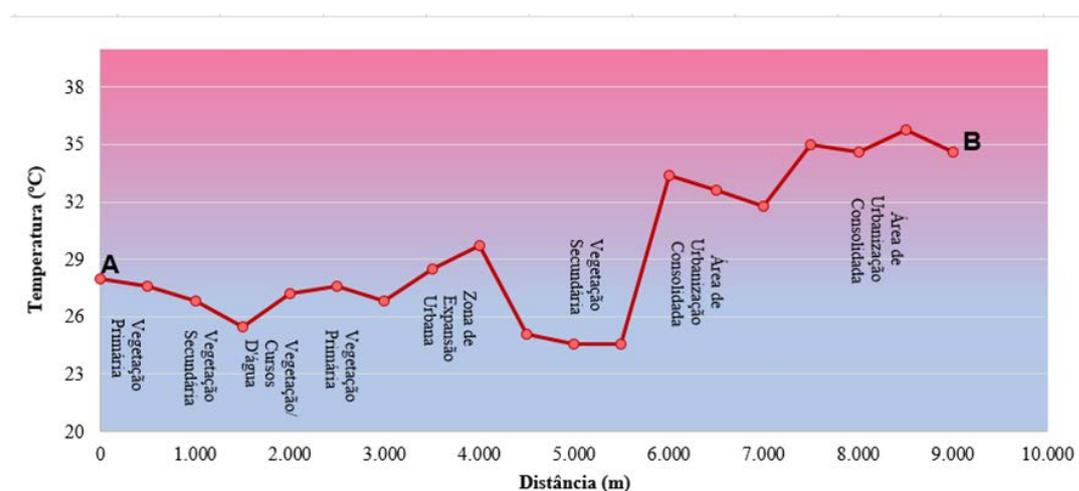


Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

O perfil longitudinal do período seco de 2010 (Gráfico 34 e Mapa 21), frente à influência da sazonalidade expuseram temperaturas superficiais bem mais elevadas que no período chuvoso do mesmo ano. Nas imediações do ponto A, foram identificados os mesmos elementos que no ano anterior como esperado, haja vista que o mapeamento do uso fora feito por ano e não por período. Em contrapartida, o que diferenciou foram as temperaturas superficiais girando em torno de 25 °C a 28 °C para os intervalos de classe que corresponde às áreas de vegetação primária, secundária e vegetações associadas a cursos d'água.

À medida que o traçado evolui em direção as áreas mais urbanizadas de Juazeiro do Norte, as temperaturas superficiais tendem a elevar-se, a exemplo da classe que corresponde à zona de expansão urbana, atingindo pico de 29 °C e as áreas de urbanização consolidada, alcançando 35 °C.

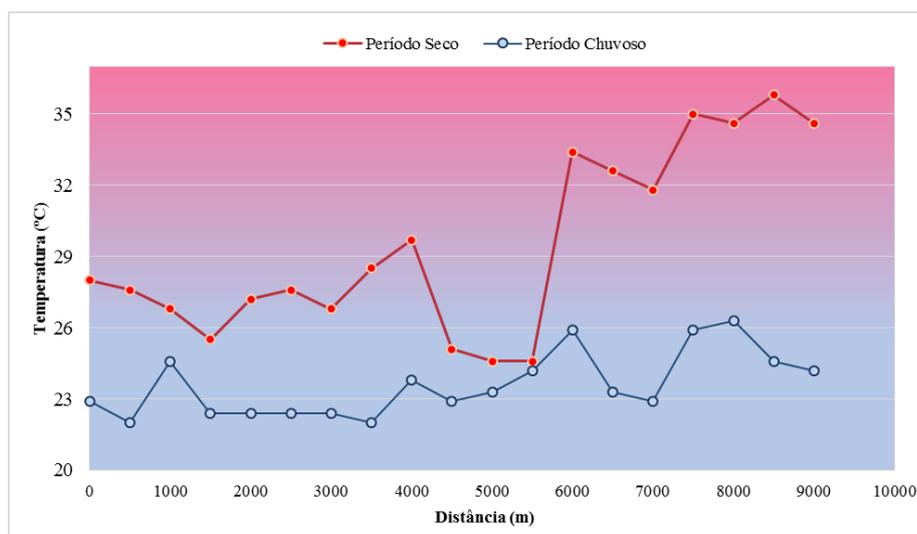
Gráfico 34 – Perfil longitudinal do período seco de 2010



Fonte: Elaboração da autora.

As informações extraídas a partir das imagens de satélite e dos perfis do período chuvoso e seco de 2010 (Gráfico 35) evidenciaram o comportamento da temperatura de superfície no município de Juazeiro do Norte e como esta temperatura, além dos fatores regionais, se manifesta frente as superfícies tipicamente encontradas na estrutura urbana das cidades brasileiras.

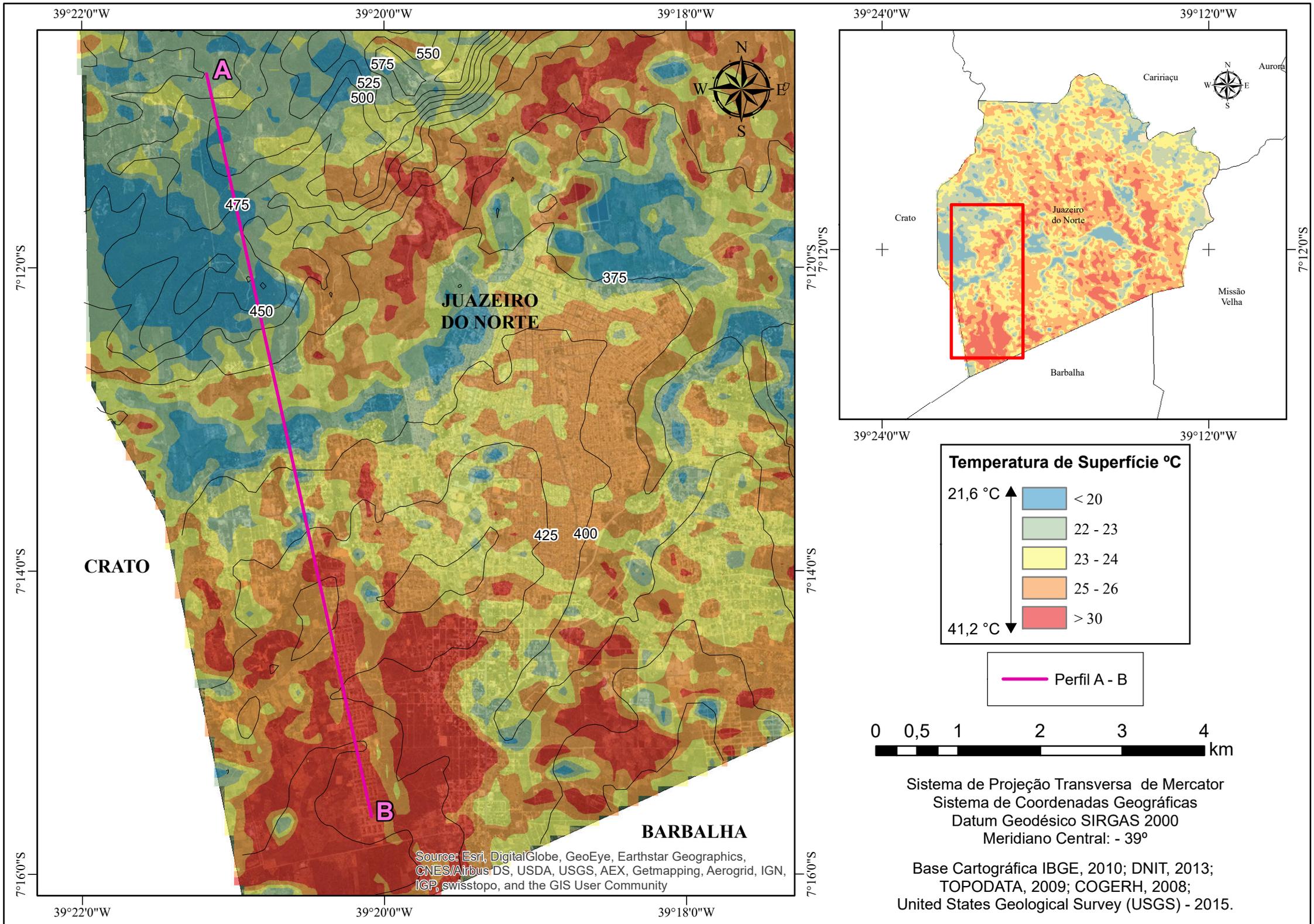
Gráfico 35 – Comparação entre os perfis longitudinais do período chuvoso e seco de 2010



Fonte: Elaboração da autora.

A partir da relação das informações levantadas (Temperatura de superfície, NDVI, Uso do solo e Perfis longitudinais derivados de imagens de satélites) observa-se que as superfícies urbanas, como as vias de acessos (concreto e asfalto), bem como os diversos tipos de telhados (metálicos e escuros), dinamizaram temperaturas superficiais mais elevadas na área de urbanização consolidada, contrariamente as superfícies naturais que evidenciaram as classes de temperaturas superficiais mais aprazíveis. É válido ressaltar, que os valores encontrados oscilaram frente o período analisado. Este fator (sazonalidade), além de outros, como morfologia do relevo, características da cidade, etc., irão moldar a forma e dinamismo dos núcleos de calor.

Mesmo com a característica lembrada anteriormente, o cálculo da diferença entre o menor valor e o maior valor evidencia a heterogeneidade que compõe este espaço, exemplificando de forma clara, que na ausência da substituição dos pavimentos e coberturas tradicionais (relacionados às maiores classes de temperatura) por pavimentos e coberturas frescos, a arborização desses setores torna-se a maneira mais efetiva para atenuação da temperatura de superfície e conseqüentemente a diminuição dos efeitos dos núcleos de calor encontrados nos ambientes urbanos.



Fonte: Elaboração própria (Estevão, 2016).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cidade ao longo da história humana fora cenário de intensas transformações. Estas transformações influenciaram a forma de investigar o mosaico de usos e paisagens que se fazem presentes em um município ou cidade.

Dentre as diferentes possibilidades de análise deste ambiente por demais complexo, está o clima urbano, que desde o século XX tem se beneficiado com investigações preocupadas com a diminuição da qualidade de vida, produto da acentuada deterioração do ambiente urbano, sobretudo em países emergentes, a exemplo o Brasil.

Com o desenvolvimento da climatologia urbana brasileira sob incentivo e suporte do S.C.U., efetivaram-se estudos nas cidades brasileiras arrançadas numa rede urbana que conglomera cidades pequenas, médias e grandes.

Tomando por base a importância de ampliar a compreensão dos fenômenos climáticos que acometem as cidades e municípios brasileiros, elaborou-se um estudo que contempla questionar o comportamento temporal e espacial das ilhas de calor de superfície, tendo como área de estudo uma cidade do semiárido nordestino e empregando como ferramenta exclusiva de coleta de dados o sensoriamento remoto.

A pesquisa identificou que os núcleos de calor no município de Juazeiro do Norte respondem diferentemente a sazonalidade da região nordeste, representado por dois períodos de condições climáticas distintos: chuvoso e seco.

De acordo com os resultados da pesquisa, verificou-se que há um núcleo de calor principal visualizado nitidamente no período chuvoso, juntamente com outros núcleos de calor de menor extensão territorial, embora estes núcleos de calor mostrem-se em maior número no período seco. Estas diferenciações de comportamento frente a sazonalidade se deve a disponibilidade hídrica, repercutindo na vegetação (déficit hídrico e comprometimento das funções fisiológicas e metabólicas) e nas superfícies líquidas que agem na atenuação da temperatura da superfície terrestre.

O estudo detectou ainda que a forma da ilha de calor de superfície nos anos estudados (1986, 1996 e 2010) configuram-se em um núcleo de maior densidade estacionado sobretudo no perímetro urbano no verão, desmembrando-se em outros núcleos de calor igualmente quentes no segundo semestre do ano.

A forma e a intensidade dos núcleos de calor atestaram a forte influência da ampla superfície de absorção causada pelo emprego de materiais de estanque (caracterizados pela

pouca capacidade de transferir o calor através de algum processo resfriativo), associado a baixa presença vegetal.

Em termos de distribuição da temperatura de superfície, esta investigação verificou que as temperaturas mais aprazíveis situam-se nas franjas urbanas, nas áreas rurais que não estão necessariamente nas franjas urbanas, em algumas áreas com elevação no relevo (Colina do Horto), bem como nas áreas de vegetações que permeiam os espelhos d'água ou as drenagens que cortam as extensões de terra do município.

As temperaturas superficiais terrestres mais elevadas posicionaram-se no recorte que compreende o perímetro urbano, áreas de expansão urbana, áreas de solo desnudo, áreas de extração mineral e uso agrícola.

Dentro da escala temporal, observou-se também as características relacionadas a amplitude das ilhas de calor superficial, onde o intervalo de classe de temperaturas mínimas contabilizou 17,1°C e 19,6°C para o intervalo que engloba as temperaturas superficiais mais elevadas entre os anos de 1986 e 2010.

Associado a temperatura de superfície, investigou-se a influência das superfícies artificiais e naturais no aumento ou diminuição da mesma. Para tanto, recorreu-se ao NDVI, uso do solo e perfil longitudinal dos elementos encontrados no município. O resultado desta análise atestou que a vegetação e as superfícies líquidas apresentam um papel fundamental na atenuação da temperatura de superfície, contrariamente as superfícies artificiais (coberturas, telhados: escuros e metálicos; calçamento e pavimentos: asfalto e concreto) que absorvem e aquecem as superfícies e o ar. Esta influência fora afirmada com os perfis longitudinais traçados no perímetro urbano e expondo os picos da temperatura superficial encontrados na cidade.

Os resultados aqui obtidos foram frutos da metodologia empregada (sensoriamento remoto) considerado suficientemente satisfatória para realização dos objetivos propostos, culminando na identificação e análise das ilhas de calor superficial, tomando como base o estudo temporal e espacial da temperatura de superfície terrestre, índice de vegetação, uso do solo e perfil longitudinal a partir das imagens do satélite Landsat 5 sensor TM dos anos de 1986, 1996 e 2010.

Conclui-se assim que esta metodologia e o emprego de técnicas complementares, a exemplo do foto radiômetro e termômetros infravermelhos, contribuem com o estudo do clima urbano, uma vez que aplicada in situ, maximiza o raio de análise, potencializando os elementos investigados.

Logo este trabalho representa uma das contribuições iniciais no temário das

pesquisas de ilhas de calor de superfície em cidades semiáridas cearenses, empregando o sensoriamento remoto como técnica exclusiva, contudo, surge a necessidade de avançar e incorporar técnicas auxiliares como as mencionadas e assim percorrer um caminho direcionado na análise quali-quantitativa para que se possa compreender efetivamente os núcleos de calor superficiais nas cidades semiáridas, uma vez que são estes fenômenos que influenciam a temperatura do ar dos ambientes urbanos.

REFERÊNCIAS

- AGRIBOTIX. Misconceptions about UAV-collected NDVI imagery and the Agribotix experience in ground truthing these images for agriculture.** Disponível em: <<http://agribotix.com/blog/2014/6/10/misconceptions-about-uav-collected-ndvi-imagery-and-the-agribotix-experience-in-ground-truthing-these-images-for-agriculture>>. Acesso em: 3 ago. 2014.
- ALCOFORADO, M.J. A ilha de calor de Lisboa. Aquisição de dados e primeiros resultados estatísticos para aplicação ao ordenamento urbano. **Geophilia: o sentir e os sentidos da Geografia**, Lisboa, 2007, p.593-162.
- ALCOFORADO, M.J.; ANDRADE, H. Global Warming and urban heat island. In Marzluff, J.M.; Shulenberg, E.; Endlicher, W.; Alberti, M.; Bradley, G.; Ryan, C.; Simon, U.; ZumBrunnen. **Urban Ecology**. Alemanha: Springer, p.249-262. 2008
- ARAÚJO, Maria. L. de. **A cidade do Padre Cícero: Trabalho e Fé**. Fortaleza: Imeph, 2011.
- AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. Rio De Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. Bases conceituais em climatologia geográfica. **Mercator**. Fortaleza, v. 8, n. 16, p. 255-261. 2009.
- BARROS, L. O. C. **O Juazeiro do padre Cícero: a Terra da Mãe de Deus**. 2 ed. Fortaleza: Imeph, 2008 [1988].
- BERTALANFFY, L.V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Tradução de Francisco M. Brasília: Vozes, 1975.
- BRASIL. MINISTERIO DO MEIO MABIENTE. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. 2007.
- BUENO, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. 1998. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, 1998.
- CARLOS, A. F. A. **A cidade**. 8. ed. São Paulo-SP: Contexto, 2008. v. 1. 104p
- CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; GUZZO, P.; ROCHA, Y.T. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo da SBAU** (Sociedade Brasileira de Arborização Urbana), ano VII, n. 3 - jul/ago/set de 1999, Rio de Janeiro, p. 7.
- CPRM. **Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará**. 2003. Fortaleza.
- CUNHA, M. S. **Pontos de (re) visão e explorações historiográficas da abordagem regional: exercício a partir do Cariri cearense (século XIX e XX)**. 2012. 232 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012.
- DELLA CAVA, R. **Milagre em Joaseiro**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

EARTH OBSERVATORY. **Measuring vegetation (ndvi e evi)**. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

EMBRAPA. **LANDSAT-Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/missao_landsat.php>. Acesso em: 12 set. 2015.

ESTEVÃO, G. S.; ZANELLA, M. E. Potencialidades e limitações na utilização do sensoriamento remoto no estudo de ilhas de calor. *In: XI-Encontro nacional da anpege. A diversidade da geografia brasileira: escalas e dimensões da análise e da ação*, 2015, Presidente Prudente. **Anais**, p. 7807 – 7817, 2015.

FAGAN, B. **O aquecimento global: A influência do clima no apogeu e declínio das civilizações**. Tradução: Elvira Serapicos. São Paulo, Larousse do Brasil, 2009.

FEITOSA, M. V. **Variação temporal do índice de vegetação (ndvi) correlacionada ao uso e manejo do solo para a estimativa da erosão**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônômico de Campinas - IAC, São Paulo, 2006.

FERREIRA, A. G. F.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, nº 1, 2005.

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Acta Geográfica (UFRR)**, v. 1, p. 61-76, 2012.

FIGUEIREDO, M.A. 1997. A cobertura vegetal do Ceará (Unidades Fitoecológicas). *In: Atlas do Ceará*. Governo do Estado do Ceará; IPLANCE, Fortaleza. 65p.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. Ampliada e atualizada. São Paulo: Oficina de texto. 2011.

FUNCEME. **Zoneamento geoambiental do estado do Ceará: Parte II: Mesorregião do sul cearense**. Fortaleza, 2006.

GALVANI E., LUCHIARI A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. *In: VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, 2004, Aracaju. **Anais**, 2004. p 20-29.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial Síntesis. S. A. 1996.

GARCÍA, M.C.M. **Estudio del clima urbano de Barcelona: la “isla de calor”**. 1993. 208 f. Tese (Doutorado) - Universidad de Barcelona, Barcelona, 1993.

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

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1990.

GONÇALVES, C. U. A invenção da região do Cariri entre o messianismo e a ética capitalista. In: LIMA, M. V.; MARQUES, R. (Org.). **Estudos regionais: limites e possibilidades**. Crato: Ceres, 2004. P. 23-35.

IBGE. **Censo demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/1>>. Acesso em 12 fev. 2015.

IBGE. Cidades. Juazeiro do Norte: **Fotos**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/fotos.php?lang=&codmun=230730&search=ceara|juazeiro-do-norte|infograficos:-fotos>>. Acesso em: 17 de set. 2015.

INSA. **Índice de vegetação para o Semiárido brasileiro**. Disponível em <<http://www.insa.gov.br/noticias/insa-e-laboratorio-da-ufal-disponibilizam-indice-de-vegetacao-para-o-semiarido-brasileiro/>>. Acessado em 25 de agosto de 2015.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parênteses Editora, 2009.

LANDSBERG, H. E. *The urban climate*. New York: Academic Press. 1981.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande : Uniderp. 2006.

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

MACEDO, J. Origens de Juazeiro do Norte. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Ceará**, Fortaleza, p. 239-251, 1978.

MAGALHÃES, G.B. **Clima e saúde: entre os elementos atmosféricos e a dengue na região metropolitana de Fortaleza**. 2008. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Sagra-D.C. Luzzatto, 1996.

MENDONÇA, F. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR**. 1994. 322 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001.

MONTEIRO, A. F. M.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano. São Paulo. 25"**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Atualizada e ampliada. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

MOURA, M. O. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. 2008. 318 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, UFC, Fortaleza, 2008.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

Oke, T.R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge. 1987.

OLIVEIRA, A. X. de. **O padre Cícero que eu conheci**. Uma verdadeira história de Juazeiro. Fortaleza: Premium Editora, 2001.

OLIVEIRA, P. W. **Memória da cidade**: transformações e permanências na produção espacial do núcleo de formação histórico da cidade de Juazeiro do Norte-Ce. 2014. 241 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

PAIVA, J. P. M.; ESTEVÃO, G. S. Estudo do campo térmico na região metropolitana de Fortaleza/CE a partir de estações fixas e sensoriamento remoto. *In*: ZANELLA, E.; LINHARES, M. C. (Org.). **Clima e recursos hídricos no Ceará na perspectiva geográfica**. 2. ed. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2015. 204p.

PEREIRA, C. S. S. **Centro, centralidade e cidade média**: o papel do comércio e serviços na reestruturação da cidade de Juazeiro do Norte-Ce. 2014. 308 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

PINHERIO, I. **O cariri seu descobrimento, povoamento, costumes**. Coleção Biblioteca Básica Cearense, Fortaleza, 2009.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. Ed. atualizada e ampliada São Paulo: Oficina de textos, 2012. 159 p.

QUEIROZ, Ivan da Silva. **A metrópole do cariri**: institucionalização no âmbito estadual e a dinâmica urbano-regional da aglomeração do Crajubar. 2013. 205 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2013.

REIS JUNIOR, D. O. **Senhores e trabalhadores no cariri cearense**: terra, trabalho e conflitos na segunda metade do século XIX. 2012. 304 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em História Social, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

RIBEIRO, S. C. **Etnogeomorfologia sertaneja**: proposta de classificação das paisagens da sub-bacia do rio Salgado/CE com base no conhecimento tradicional sobre relevo e seus processos. 1. ed. Crato: Rds, 2014. 232 p.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 3. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2010. 222 p.

SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G.; DANTAS, S. P. Classificação climática de Thornthwaite e Mather aplicada ao estado do Ceará. 1º Aproximação: Segundo o Índice Efetivo de Umidade. *In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica: Climatologia e Gestão do Território*, 2010, Fortaleza. **Anais**, 2010.

SANTA'ANNA NETTO, J. L. **História da climatologia no Brasil**: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. 2001. 169 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.

SANTOS, J. S. **Campo térmico urbano e sua relação com o uso e cobertura do solo em João Pessoa**. 2011. 108 f. (Tese de Doutorado). Campina Grande - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais-UFCG, 2011.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução a Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

USA. Environmental Protection Agency-epa. **Heat Island Compendium**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>>. Acesso em: 15 de jul.2015.

VIEIRA, P.B.H. **Uma visão geográfica das áreas verdes de Florianópolis-SC**: estudo de caso do Parque Ecológico do Córrego Grande (PECG). 2004. 109 f. Monografia (Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

VOOGT, J.A.; OKE, T.R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, Oxford, v.86, p.370-384, 2003.

ZANELLA, M. E. Caracterização climática e os recursos hídricos do estado do Ceará. *In: SILVA, J. B. da.; DANTAS. E. W.; CAVALCANTE. T. (Org.). Geografia do Ceará: Um novo olhar geográfico*. 2. ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. P. 169-188.