



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO URBANO

Raul Xavier de Macedo Neto

TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NOS MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO: uma
contribuição ao desenvolvimento urbano

Recife

2015

RAUL XAVIER DE MACEDO NETO

TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NOS MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO: uma
contribuição ao desenvolvimento urbano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Desenvolvimento Urbano da
Universidade Federal de Pernambuco para a
obtenção do grau de mestre, sob a orientação
do Prof. Dr. Ruskin Freitas

Recife

2015

Catálogo na fonte

Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

M141t Macedo Neto, Raul Xavier de

Temperatura da superfície nos materiais de pavimentação: uma contribuição ao desenvolvimento urbano / Raul Xavier de Macedo Neto. – 2015.

159 f.: il., fig.

Orientador: Ruskin Freitas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Desenvolvimento Urbano, 2016.

Inclui referências.

1. Planejamento urbano. 2. Pavimentos. 3. Crescimento urbano. 4. Solos – Temperatura. 5. Capitais (Cidades). 6. Materiais – Propriedades térmicas. I. Freitas, Ruskin (Orientador). II. Título.

711.4 CDD (22. ed.)

UFPE (CAC 2016-134)

Ata da décima quarta defesa de DISSERTAÇÃO de Mestrado, do Programa De Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano do Centro de Artes e Comunicação da Universidade Federal de Pernambuco, no dia 22 de dezembro de 2015.

PROPE-SC
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS
DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



Aos vinte e dois dias do mês de dezembro de dois mil e quinze (2015), às 14 horas, na sala de videoconferências da Universidade Federal de Pernambuco, em sessão pública, teve início a defesa da dissertação intitulada “Temperatura da superfície nos materiais de pavimentação: uma contribuição ao Desenvolvimento Urbano” do aluno Raul Xavier de Macedo Neto, na área de concentração Desenvolvimento Urbano, sob a orientação do Professor Ruskin Marinho de Freitas. O mestrando cumpriu todos os demais requisitos regimentais para a obtenção do grau de Mestre(a) em Desenvolvimento Urbano. A Banca Examinadora foi indicada pelo colegiado do programa de pós-graduação em 16 de dezembro de 2015, na sua 9ª Reunião ordinária e homologada pela Diretoria de Pós-Graduação, através do Processo Nº 23076.053043/2015-02 em 17/12/2015, composta pelos Professores: Ronald Fernando Albuquerque Vasconcelos, DAU/UFPE, Angelina Dias Leão Costa (UFPB); Edvânia Torres Aguiar Gomes e Maria de Fátima Ribeiro de Gusmão Furtado, da Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano/UFPE. Após cumpridas as formalidades, o candidato foi convidado a discorrer sobre o conteúdo da Dissertação. Concluída a explanação, o candidato foi argüido pela Banca Examinadora que, em seguida, reuniu-se para deliberar e conceder ao mesmo a menção APROVADO da referida Dissertação. E, para constar, lavrei a presente Ata que vai por mim assinada, Renata de Albuquerque Silva, e pelos membros da Banca Examinadora.

Recife, 22 de dezembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ruskin Marinho de Freitas
Prof. Ronald Fernando Albuquerque Vasconcelos
Profa. Edvânia Torres Aguiar Gomes
Profa. Angelina Dias Leão Costa
Raul Xavier de Macedo Neto
Renata de Albuquerque Silva (Secretária)

Dedico este trabalho aos meus amigos e familiares que compartilharam comigo o entusiasmo pela busca do conhecimento. Aos pesquisadores da Climatologia Urbana. Aos cidadãos recifenses.

AGRADECIMENTOS

A incumbência de elaborar uma Dissertação de Mestrado, por mais que seja atribuição de uma pessoa, não teria o pleno desenvolvimento sem o apoio e contribuição, de forma direta ou indireta, de Professores, amigos, colegas de profissão e institutos de pesquisa e desenvolvimento científico.

Em primeiro momento, agradeço a Deus por ter me concebido o dom da vida.

Aos meus pais Rosemere Maria Xavier de Macedo e Izaiais José de Macedo, pelo carinho e compreensão, sem os quais, a concretização deste trabalho não seria possível.

A minha família, pelo incentivo e apoio incondicional.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ruskin Marinho de Freitas, pela confiança e paciência depositadas em mim, por acreditar ser possível a realização deste trabalho e pelas valiosas contribuições, ensinamentos, que muito acrescentaram tanto no processo de aprendizagem, quanto no desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Professor Dr. Ranyére Silva Nóbrega, pelas conversas informais, que em muito contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa e por todo o conhecimento e incentivo que ele tem, pacientemente fornecido em minha vida acadêmica.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, pelo conhecimento fornecido ao longo desses dois anos de curso.

Aos funcionários da Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, em especial Renata e Élide, pelo apoio de sempre, funcionárias bastante prestativas e sempre dispostas a ajudarem.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da bolsa de pesquisa, determinante no meu sustento e manutenção no curso.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento gratuito de imagens de satélite do Brasil.

A Prefeitura da Cidade do Recife por ter cedido à base de dados vetorial e matricial do município.

Aos amigos do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, SERGEO, em especial Ygor, Hewerton, Tiago, Elvis e Henrique pelos ensinamentos que adquirir na área de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento fornecendo-me o

embasamento teórico e base metodológica necessária a compreensão da disciplina. Além, é claro, pelos momentos de alegria e descontração.

Aos amigos do Laboratório de Conforto Ambiental, LACAM, em especial, Jaucele, Arthur, Ana Clara, Joana e Simone, pelo acolhimento e primeiros ensinamentos nas disciplinas do programa.

À turma M34, em especial à Rita, Igor, Eugênia, Rogério, Werther entre outros, pela amizade a mim despendida.

A melhor equipe de pesquisa de campo do mundo, meus amigos Lucas, Sérgio, Alisson, Eduardo, Cíntia, Dani, minha tia Rozicleide e sua filha Rosane, meus sinceros agradecimentos. Faltam-me palavras para expressar tamanha gratidão.

À Joaquim do Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste (CEPAN), pela consultoria prestada na área de geoprocessamento.

E aos demais amigos e parentes que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

“Toda cidade é uma mescla única de planejamento e não planejamento, de elementos concebidos por governos e de outros que surgiram de forma orgânica em função das escolhas dos moradores.”

Yeong-Hee Jang, Urbanista Coreana.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo geral, avaliar a temperatura da superfície de alguns materiais utilizados na pavimentação do solo, de recintos urbanos na cidade do Recife-PE, visando determinar a contribuição desses materiais nas mudanças das variáveis climáticas, sobretudo para o aumento da temperatura e para a redução da umidade relativa do ar, objetivando mitigar os impactos das superfícies impermeabilizadas na qualidade ambiental dos recintos urbanos e melhorar o conforto térmico dos cidadãos. Para isto, foram utilizadas duas imagens do sensor TM, a bordo do satélite Landsat 5, e elaborada uma classificação das temperaturas de superfície na cidade do Recife. Foi selecionado um recorte espacial, representativo de maior temperatura que corresponde ao 1ª Jardim de Boa Viagem, zona sul da cidade. A partir dos aspectos da morfologia urbana e características de uso e ocupação do solo, foram selecionados quatro pontos para a coleta de dados climáticos. Caracterizou-se o perfil microclimático do local e identificaram-se nove tipos de materiais de pavimentação. Em seguida mediram-se as temperaturas de superfície de cada material relacionando-os com as variáveis climáticas e os aspectos da forma urbana do local. Os materiais de pavimentação que apresentaram as maiores temperaturas de superfície tenderam a possuir cores escuras, como o asfalto, pedras portuguesas nas cores pretas, blocos de concreto intertravado nas cores vermelho e cinza-escuro e o concreto, apesar de possuir uma coloração cinza-claro. Estes materiais possuem baixos valores de albedo, visto que absorvem grandes quantidades de radiação solar, armazenados em seu interior, sob a forma de calor. Outro ponto a ser destacado, é a impermeabilidade dos materiais. As superfícies que apresentam as maiores temperaturas tendem a ser totalmente impermeáveis, ou seja, superfícies que não possuem poros, impedindo que a água da chuva escoe por entre os pavimentos e seja armazenada nas camadas e no solo abaixo dele. Em dias ensolarados, a água, quando evapora, resfria o pavimento. O presente estudo constatou que os materiais mais utilizados no revestimento do solo urbano são os que possuem as maiores temperaturas de superfície. Portanto, recomenda-se a preservação de áreas verdes e da arborização já existente; a elaboração de políticas públicas que incentivem a implantação da vegetação dentro de grandes empreendimentos imobiliários e industriais, ou seja, um maior percentual de utilização do terreno destinados a vegetação.

Palavras-chave: Temperatura da Superfície. Materiais. Armazenamento de Calor. Áreas Verdes. Conforto Térmico.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the surface temperature of some materials used in the ground paving, urban venues in the city of Recife-PE, in order to determine the contribution of each material changes in climate variables, especially the increase in temperature and reducing the relative humidity of form to mitigate the impacts of impervious surfaces in the environmental quality of urban precincts and improve the thermal comfort of city dwellers. For this, two TM images were used aboard the Landsat 5 satellite, and elaborated a classification of surface temperatures in the city of Recife. It selected a spatial area, representative of higher temperature that corresponds to the 1st Garden Boa Viagem, area south of the city. From the aspects of urban morphology and characteristics of use and occupation of land, four points were selected for the collection of weather data, the microclimate of the local profile was characterized and were identified nine types of paving materials. In a row were measured surface temperatures of each material relating them to the climatic variables and aspects of urban form of the site. The paving materials with the highest surface temperatures tended to have dark colors, such as asphalt, Portuguese stones in black colors, concrete blocks interlocked in red and dark gray, and the concrete itself, despite having a gray color -of course. These materials have low albedo values, since they absorb large amounts of solar radiation stored therein in the form of heat. Another point to note is the impermeability of the materials. The surfaces that exhibit higher temperatures tend to be totally impervious, ie, surfaces that do not have pores as they allow rain water to drain through the floor and be stored in the layers beneath it and ground. On sunny days, when the water evaporates, it cools the pavement. This study found that the most commonly used materials in the urban floor coverings, are those with the highest surface temperatures. Therefore recommends the preservation of green areas and the existing trees; the development of public policies that encourage the establishment of vegetation in large real estate and industrial projects, ie, a higher percentage of use of the land for the planting of seedlings.

Keywords: Surface Temperature, Materials, Heat Storage, Green Areas and Thermal Comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Pratica de irrigação na margem do Rio Eufrates, território do Iraque. Os primeiro agrupamentos humanos necessitavam conhecer as particularidades do clima para antever inundações em planícies fluviais.....	26
Figura 2	Imagem de satélite meteorológico sendo utilizado para previsão do tempo, no Brasil.....	28
Figura 3	Imagem de duas localidades que possuem latitudes próximas, porém estão situadas em altitudes diferentes. Na imagem (a) município de Garanhuns e na imagem (b) município do Recife.....	31
Figura 4	Imagem da praia de Iracema, Fortaleza, Ceará. Influência da maritimidade em cidades litorâneas.....	33
Figura 5	Traçado urbano do Fórum Romano.....	35
Figura 6	Traçado urbano da cidade de Braga-PT medieval, século XII.....	36
Figura 7	Gravura de Gustave Doré sobre a Didley Street, em 1872. Utilizada por Benévolo para ilustrar o período.....	37
Figura 8	Contrastes da urbanização: Favela da Rocinha, situada na zona sul do Rio de Janeiro - RJ, entre os bairros da Gávea e São Conrado.....	40
Figura 9	Escala climática vertical na área urbana.....	42
Figura 10	Cinturão de Prédios, próximo ao estádio de futebol Serra Dourada, em Goiânia - GO....	43
Figura 11	Área de intensa impermeabilização no bairro de Boa Viagem, Recife – PE.....	45
Figura 12	Esquema exemplificando as alterações no escoamento da superfície relacionando a porcentagem de impermeabilização do solo.....	46
Figura 13	Gráfico demonstrativo dos valores da temperatura do ar em áreas comerciais, residenciais, no centro da cidade e na zona rural circunvizinha. É possível perceber que a temperatura do ar aumenta com a concentração da massa edificada.....	48
Figura 14	Imagem exemplificando a forma urbana em cânions, no bairro de Boa Viagem, Recife - PE.....	49
Figura 15	Valores de Albedo da Superfície para materiais urbanos.....	52
Figura 16	Imagem demonstrando a interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre e o sensor remoto.....	57
Figura 17	Propagação da Radiação Eletromagnética no espaço.....	58

Figura 18	Espectro da Radiação Eletromagnética.....	59
Figura 19	Ilustração feita em computação gráfica do satélite Landsat 5.....	64
Figura 20	Ilustração elaborada por computação gráfica simulando o satélite IKONOS II (a) e o satélite QUICK BIRD (b) em órbita terrestre.....	66
Figura 21	Localização do município de Recife – PE.....	69
Figura 22	Localização do município do Recife e municípios vizinhos.....	70
Figura 23	Distribuição da Temperatura da Superfície (°C) no município do Recife – PE, com destaque para o bairro de Boa Viagem.....	73
Figura 24	Localização de Boa Viagem e bairros vizinhos, Recife – PE.....	75
Figura 25	Distribuição de Temperatura da Superfície (°C) no bairro de Boa Viagem, Recife, com destaque para a área de estudo.....	76
Figura 26	Distribuição do Índice de Área Foliar no município do Recife, com destaque para o bairro de Boa Viagem.....	78
Figura 27	Distribuição do Índice de Área Foliar (IAF) para o bairro de Boa Viagem, com destaque para a área de estudo.....	79
Figura 28	Distribuição do Albedo da Superfície no município do Recife, com destaque para o bairro de Boa Viagem.....	81
Figura 29	Distribuição do Albedo de Superfície no bairro de Boa Viagem, com destaque para a área de estudo.....	82
Figura 30	Fluxograma de pré-processamento das imagens.....	84
Figura 31	Fluxograma para obtenção dos valores de temperatura da superfície.....	85
Figura 32	Esquema representativo da seleção da área de estudo, mediante a classificação Não Supervisionada da temperatura da superfície utilizando a imagem TM Landsat 5.....	87
Figura 33	Espacialização dos trechos que obtiveram as maiores temperaturas da superfície no bairro de Boa Viagem.....	88
Figura 34	Espacialização dos Pontos de Medição na área de estudo, bairro de Boa Viagem, Recife – PE.....	89
Figura 35	Espacialização dos Pontos de Medição na imagem do sensor QUICK BIRD, Digital Globe, empresa que fornece as imagens do Google Earth.....	90
Figura 36	Distribuição espacial dos valores de Temperatura da Superfície no entorno ao 1 ^a Jardim de Boa Viagem.....	91
Figura 37	Identificação dos tipos de superfície no entorno ao ponto de medição P3.....	92

Figura 38	Identificação dos tipos de superfície no entorno ao ponto de medição P1.....	93
Figura 39	Instrumentos utilizados durante a pesquisa de campo: (a) Termo-Anemômetro (b) Termo-Higrômetro (c) Termômetro infravermelho de mira a laser.....	98
Figura 40	Imagens das medições durante a pesquisa de campo, em diferentes momentos, bairro de Boa Viagem, Recife – PE.....	99
Figura 41	Distribuição espacial dos valores do Índice de Área Foliar (IAF) no entorno ao 1ª Jardim de Boa Viagem.....	102
Figura 42	Imagens da praça do 1ª Jardim de Boa Viagem e seu entorno. É notável a presença de vegetação apenas na praça.....	103
Figura 43	Distribuição espacial dos valores de Albedo da Superfície no entorno ao 1ª Jardim de Boa Viagem.....	104
Figura 44	Localização do Ponto de Medição P1, no cruzamento da Rua Tomé Gibson com a Av. Boa Viagem.....	105
Figura 45	Imagens do entorno ao Ponto de Medição P1. É possível observar a concentração de edifícios alto, destinados ao uso residencial multifamiliar.....	106
Figura 46	Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P1, no período matutino.....	108
Figura 47	Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P1, no período vespertino.....	109
Figura 48	Imagem da Av. Boa Viagem próximo à praça do 1ª Jardim. Nota-se o revestimento de concreto na via, que foi utilizado como amostra para análise da temperatura.....	110
Figura 49	Imagem de um voluntário medindo superfície coberta por asfalto, na sombra, próximo à praça do 1ª Jardim de Boa Viagem.....	112
Figura 50	Imagem de um banco feito de cimento na orla da praia de Boa Viagem.....	113
Figura 51	Calçada revestida por blocos de concreto intertravados, de várias colorações, na orla da praia de Boa Viagem.....	114
Figura 52	Passeio urbano revestido com pedras portuguesas brancas e pretas, próximo à praça do 1ª Jardim de Boa Viagem. As pedras portuguesas são comuns em outras capitais brasileiras como Rio de Janeiro e São Paulo.....	115
Figura 53	Solo coberto por grama e vegetação arbustiva e arbórea na praça do 1ª Jardim de Boa Viagem. A vegetação ameniza as altas temperaturas e aumentam a umidade do ar, em ambiente urbanos.....	116
Figura 54	Localização do Ponto de Medição P2, no cruzamento da Av. Boa Viagem com a Rua Frei	

	Leandro.....	118
Figura 55	Imagens do entorno ao Ponto de Medição P2. Neste ponto, é possível notar edifícios de médio e baixo gabarito a medida que se aproxima da Av. Conselheiro Aguiar.....	119
Figura 56	Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P2, no turno da manhã.....	122
Figura 57	Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P2, no turno da tarde.....	123
Figura 58	Superfície revestida por cimento na calçada da rua Frei Leandro. Este material continuou liberando calor após o por do sol.....	124
Figura 59	Localização do Ponto de Medição P3, no cruzamento da Rua Frei Leandro com a Av. Conselheiro Aguiar.....	126
Figura 60	Imagens do entorno ao Ponto de Medição P3. A Av. Conselheiro Aguiar é uma das principais vias do bairro e possui um fluxo intenso de veículos.....	127
Figura 61	Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P3, no turno da manhã.....	129
Figura 62	Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P3, no turno da tarde.....	130
Figura 63	Imagens de duas superfícies revestidas por blocos de concreto intertravado. Na figura à esquerda, o intertravado possui uma coloração mais clara em relação a imagem da direita. Ambos estão localizados em passeios públicos na Avenida Conselheiro Aguiar.....	132
Figura 64	Imagem de superfície revestida por blocos permeáveis. Nesta imagem a estrutura treliçada, pré-fabricada foi construída a base de concreto.....	133
Figura 65	Localização do Ponto de Medição P4, no cruzamento da Av. Conselheiro Aguiar com a Rua Tomé Gibson.....	135
Figura 66	Imagens do entorno ao Ponto de Medição P4. A Rua Tomé Gibson, assim como a Frei Leandro, funcionam como uma passagem da brisa marítima para o interior do bairro.....	136
Figura 67	Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P3, no turno da manhã.....	138
Figura 68	Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P4, no turno da tarde.....	139
Figura 69	Aplicação do pó de borracha de pneu sendo adicionado ao ligante asfáltico.....	145
Figura 70	Aplicação do concreto ecológico, em substituição aos blocos intertravados na	

	pavimentação de passeios urbanos.....	146
Figura 71	Aplicação da escória de aciaria misturado com o cimento para fabricação do concreto na pavimentação de estradas.....	147
Figura 72	Aplicação de pavimento a base de resina.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de Albedo para algumas superfícies.....	53
Tabela 2	Valores de condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica de diversos materiais.....	54
Tabela 3	Faixas espectrais mais utilizadas em Sensoriamento Remoto.....	60
Tabela 4	Dados de Precipitação e Radiação Solar da Estação Convencional do INMET situada no bairro do curado, Recife/PE.....	96
Tabela 5	Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da manhã no ponto P1.....	107
Tabela 6	Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da tarde no ponto P1.....	107
Tabela 7	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período matutino, encontrados no entorno ao ponto P1.....	108
Tabela 8	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período vespertino, encontrados no entorno ao ponto P1.....	109
Tabela 9	Síntese das variáveis climáticas e média da temperatura da superfície nos materiais, encontrados no recinto urbano correspondente ao ponto P1, nos turnos manhã e tarde.....	117
Tabela 10	Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da manhã no ponto P2.....	120
Tabela 11	Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da tarde no ponto P2.....	121
Tabela 12	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período matutino, encontrados no entorno ao ponto P2.....	121
Tabela 13	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da tarde, encontrados no entorno ao ponto P2.....	122
Tabela 14	Síntese das médias das variáveis climáticas e da temperatura da superfície dos materiais, encontrados no entorno ao ponto P2, nos períodos matutino e vespertino.....	125
Tabela 15	Média dos dados climáticos referente ao turno da manhã, no ponto P3.....	128
Tabela 16	Média dos dados climáticos referente ao turno da tarde, no ponto P3.....	128
Tabela 17	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da manhã,	

	encontrados no entorno ao ponto P3.....	129
Tabela 18	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da tarde, encontrados no entorno ao ponto P3.....	130
Tabela 19	Síntese das médias das variáveis climáticas e da temperatura da superfície dos materiais, encontrados no entorno ao ponto P3, nos períodos matutino e vespertino.....	134
Tabela 20	Média dos dados climáticos referente ao turno da manhã, no ponto P4.....	137
Tabela 21	Média dos dados climáticos referente ao turno da tarde, no ponto P4.....	137
Tabela 22	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da manhã, encontrados no entorno ao ponto P4.....	138
Tabela 23	Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da tarde, encontrados no entorno ao ponto P4.....	139
Tabela 24	Síntese das médias das variáveis climáticas e da temperatura da superfície dos materiais, encontrados no entorno ao ponto P4, nos períodos matutino e vespertino.....	140
Tabela 25	Síntese das médias de variáveis climáticas e dados de temperatura da superfície nos materiais identificados nos recintos urbanos P1, P2, P3 e P4 para o turno da manhã.....	141
Tabela 26	Síntese das médias de variáveis climáticas e dados de temperatura da superfície nos materiais identificados nos recintos urbanos P1, P2, P3 e P4 para o turno da tarde.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
NASA	National Aeronautics and Space Administration
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TM	Thematic Mapper
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	20
1. CLIMA E DESENVOLVIMENTO URBANO	26
1.1. O Conhecimento do Clima: Conceitos e Escalas de Abordagem	26
1.2. Clima Urbano	35
1.3. Ilhas de Calor Urbano	47
1.4. Propriedade Térmica dos Materiais	51
2. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E SENSORIAMENTO REMOTO	57
2.1. Sensoriamento Remoto Orbital: Conceitos Básicos	57
2.2. Sensoriamento Remoto do Espaço Urbano	62
2.3. Temperatura da Superfície no município do Recife - PE	67
2.4. Índice de Área Foliar no município do Recife - PE	77
2.5. Albedo da Superfície no município do Recife - PE	80
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	84
3.1. Aquisição da Base de Dados Espaciais	84
3.2. Seleção da Área de Estudo	86
3.3. Pesquisa de Campo	95
4. ANÁLISE DE RECINTOS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO 1ª JARDIM DE BOA VIAGEM, RECIFE - PE	100
4.1. Urbanização no bairro de Boa Viagem	100
4.2. Aspectos Ambientais do 1º Jardim de Boa Viagem	101
4.3. Pontos de Medição	105
CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
ENDEREÇOS ELETRONICOS	159

INTRODUÇÃO

Os estudos sobre o clima urbano, em cidades tropicais, possuem importância fundamental para o entendimento dos diversos fenômenos que influenciam na qualidade ambiental urbana. No cenário brasileiro, pós Segunda Guerra Mundial, as migrações do campo em direção as grandes metrópoles ocorreram em um ritmo tão acelerado que a administração pública municipal não conseguiu acompanhar.

Além disso, a omissão de políticas públicas na elaboração e/ou cumprimento de dispositivos legais, a ausência de intervenções urbanísticas e o desinteresse por parte da sociedade urbana, contribuíram de forma decisiva para o atual quadro de degradação ambiental das cidades brasileiras.

As rápidas mudanças, introduzidas em áreas urbanas, alteram de forma significativa, as relações entre o balanço de radiação e energia, com a superfície pavimentada. É sabido que as cidades possuem uma alta concentração de materiais e uma quantidade ínfima de áreas verdes. As superfícies urbanas são revestidas, em sua quase totalidade, por materiais impermeáveis e de coloração escura. Esses materiais absorvem a radiação solar, e armazenam a energia em seu interior, sob a forma de calor. Ademais, pavimentos impermeáveis não permitem infiltrações da água da chuva, impedindo o resfriamento da superfície por meio da evaporação.

A intensa impermeabilização do solo aumenta a taxa de escoamento superficial das águas pluviais. A drenagem tende a escorrer mais rapidamente sobre as superfícies pavimentadas de ruas, avenidas, passeios, enquanto mais lentamente escorria sobre superfícies com cobertura vegetal, uma vez que parte da água poderia se infiltrar no solo, como elucida Freitas:

A umidade em áreas urbanas tende a ser menor, devido à impermeabilização das superfícies, sobretudo do solo, e a consequente e rápida evaporação e drenagem da água precipitada. Um ciclo vicioso perverso forma-se a partir daí, quando a rápida evaporação vai provocar a formação de novas nuvens e uma maior precipitação nas áreas urbanas que nas rurais. Muitas vezes, as chuvas além de mais intensas nas cidades, carregam para as edificações, para o solo e para a vegetação, também no seu entorno, os poluentes em suspensão na atmosfera (FREITAS, 2008, p.84).

A ausência de vegetação também é um fator determinante para o aquecimento de áreas urbanas, uma vez que a vegetação refresca a camada de ar adjacente e protege as superfícies da radiação solar, por meio da projeção de sombras.

Desta forma, a problemática da pesquisa refere-se à intensa impermeabilização do solo, decorrente do uso indiscriminado de materiais para o revestimento de superfícies, provocando a retenção e o armazenamento de calor, alterando a drenagem e influenciando nos valores de temperatura e umidade do ambiente urbano.

Os efeitos do processo de urbanização sobre o clima de um determinado lugar podem ser sentido pelos habitantes de uma cidade, através das alterações das variáveis climáticas, tais como o aumento da temperatura do ar, a diminuição da umidade relativa, a introdução de novas unidades habitacionais, sobretudo os edifícios, provocam uma mudança no fluxo natural dos ventos, dificultando a dispersão de calor e de poluentes.

O melhor exemplo documentado de fenômeno, relacionado aos efeitos induzidos pelo processo de urbanização na atmosfera da cidade refere-se ao conhecido como ilhas de calor. As consequências deste fenômeno podem afetar a saúde e a produtividade humana. O risco de contrair doenças cardiovasculares e respiratórias, sobremaneira em crianças e idosos, pode estar relacionado à intensidade das ilhas de calor.

Assis (2011) elucida outras consequências advindas deste fenômeno como o aumento no consumo energético para a refrigeração artificial das habitações; a ocorrência mais frequente de episódios severos de chuvas e enchentes, resultando em danos materiais e sociais; a concentração de ar poluído e a diminuição da ventilação natural devido ao aumento da rugosidade urbana, que afeta a saúde humana e prejudica a conservação dos edifícios.

Os estudos sobre o clima urbano, na região Nordeste do Brasil, ainda são escassos, sobretudo os que utilizam a tecnologia dos sensores orbitais na coleta de parâmetros biofísicos dos elementos urbanos. As pesquisas, cujo enfoque advém da análise da temperatura dos materiais de superfície, em recintos urbanos, são deveras reduzidas. Todavia, existem importantes trabalhos no meio acadêmico, indicando a relevância da temática no contexto urbano da região Nordeste do Brasil.

Recife, capital do estado de Pernambuco possui população de 1.537.704 habitantes, correspondendo a 17,48% da população do Estado, e a 41,63% da Região Metropolitana do Recife (RMR), o que lhe propicia uma densidade demográfica de 6.989 habitantes/km² (IBGE, 2010). A Região Metropolitana do Recife é a mais populosa do Nordeste, e a quinta maior do Brasil com um total de 3,73 milhões em toda área metropolitana (IBGE, 2010).

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo geral, avaliar a temperatura da superfície de alguns materiais utilizados na pavimentação do solo, de recintos urbanos na cidade do Recife-PE, visando determinar a contribuição desses materiais nas mudanças das

variáveis climáticas, sobretudo no aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar, de formar a mitigar os impactos das superfícies impermeabilizadas na qualidade ambiental dos espaços urbanos e melhorar o conforto térmico dos cidadãos. Para o cumprimento desta tarefa, foram necessários destacar os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a relação entre clima e desenvolvimento urbano, enfatizando a contribuição da temperatura da superfície para o conforto ambiental.
- Discutir os conceitos e aplicações da tecnologia do sensoriamento remoto orbital na coleta de dados de temperatura da superfície;
- Avaliar uma área específica, no bairro de Boa Viagem, identificando os materiais de pavimentação e a contribuição de suas temperaturas para o conforto ambiental da cidade do Recife.

Utilizando a imagem termal do sensor TM / Landsat 5 foi possível elaborar uma análise da configuração espacial da temperatura de superfície no território do Recife. Além disso, foi realizada uma classificação Não Supervisionada a partir do software ArcGis 10.1 (Licença em nome do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, SERGEO do DCG-UFPE). Através desta classificação, foi selecionado um recorte espacial, representativo de maior temperatura. Este trecho coincide com o 1ª Jardim de Boa Viagem, zona sul da cidade.

O 1ª Jardim de Boa Viagem segue o padrão de construções com alturas elevadas, alta taxa de ocupação dos lotes, com edifícios muito próximos um dos outros, formando um cinturão de prédios, característico de áreas com elevada densidade construtiva e verticalizada.

Ao avançar para o interior do bairro, nas quadras próximas à Avenida Conselheiro Aguiar, o uso predominante deixa de ser o residencial, prevalecendo o comercial em edificações de baixa altura, com casos pontuais de edifícios de média altura. Essas transformações na forma urbana, evidenciadas entre a orla e o interior do bairro impactam diretamente na formação e dinâmica do microclima local, alterando significativamente os índices de temperatura e umidade do ar.

As pesquisas em climatologia urbana necessitam do envolvimento de diversos profissionais, formando uma equipe interdisciplinar, com arquitetos e urbanistas, geógrafos, biólogos, engenheiros e médicos. Os projetos interdisciplinares, englobando vários especialistas, podem auxiliar nos estudos sobre a problemática ambiental nas metrópoles,

considerando-a como um ecossistema diversamente estruturado, com inter-relações complexas entre seus elementos (atividades humanas, materiais de construções, solo, água, ar, vegetação).

Neste sentido, torna-se urgente, o desenvolvimento de estudos urbanos que possam avaliar o comportamento térmico dos materiais. Poucas pesquisas na área da climatologia urbana foram desenvolvidas investigando os materiais de construção, principalmente em cidades de clima tropical, onde os efeitos das mudanças das variáveis climáticas permitem maior impacto nas condições de conforto térmico dos usuários, dos espaços públicos e consequentemente na qualidade ambiental urbana.

A administração pública municipal possui papel fundamental neste trabalho de requalificação dos espaços urbanos. Ela necessita do apoio técnico para a especificação de materiais de construção mais adequados ao contexto climático regional, ambiência urbana e conforto térmico dos usuários. Doravante, almeja-se o enriquecimento das informações e do acervo de dados, para os estudos de planejamento urbano que levem em consideração a variável do clima, visando amenizar os efeitos do desconforto térmico nos usuários.

Para que um ambiente apresente níveis satisfatórios de habitabilidade, é de fundamental importância atender aos princípios que norteiam o conforto térmico. Sua importância relaciona-se não só a sensação de conforto dos seus usuários, como também ao seu desempenho no trabalho e a sua saúde.

Segundo Romero (2000), a condição de conforto é obtida mediante o efeito conjugado e simultâneo de um complexo conjunto de fatores objetivos como os elementos do clima (temperatura do ar, umidade relativa, movimentos do ar, radiação) e outros de caráter subjetivos (aclimatação, forma e volume do corpo, cor, metabolismo). O efeito conjugado desses fatores, quando produz sensações térmicas agradáveis é denominado zona de conforto e o seu estudo é de suma importância para a arquitetura bioclimática. Frota & Schiffer (2001), afirmam que:

A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando o seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico. A arquitetura como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto humano no interior dos edifícios, sejam quais forem às condições climáticas externas (FROTA & SCHIFFER, 2001, p.15).

A partir da delimitação da problemática e dos objetivos da pesquisa, houve a necessidade de aplicação do método que melhor atendesse ao que o estudo se propôs, pois é a natureza do problema ou o nível de aprofundamento que determina o método, ou seja, a

escolha do método se faz em função do tipo de problema estudado (STUBBS & DELAMONT, 1976, *citado por* LÜDKE & ANDRÉ, 1986; RICHARDSON, 1999).

Resolveu-se utilizar procedimentos do método hipotético-dedutivo proposto pelo filósofo Karl Popper. Para Popper, o método científico parte de um problema, ao qual se oferece uma espécie de solução provisória, uma teoria tentativa, passando-se depois a criticar a solução, com vista à eliminação do erro. Esse processo se renovaria, em si mesmo, dando surgimento a novos problemas (MARCONI & LAKATOS, 2010).

Em geral o método hipotético – dedutivo é utilizado para melhorar ou precisar teorias prévias em função de novos conhecimentos, nos quais a complexidade do modelo não permitem formulações lógicas (OLIVEIRA, 2001).

O presente trabalho compartilha da hipótese dos materiais corriqueiramente utilizados na pavimentação do 1ª Jardim de Boa Viagem apresentam valores de temperatura da superfície bastante elevados, contribuindo, de maneira decisiva, para o aumento da temperatura do ar e redução da umidade relativa.

A pesquisa encontra-se dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta um embasamento teórico consistente acerca do conhecimento climático, onde são abordados temas como os elementos do clima que influenciam na diversificação das paisagens, escalas de abordagem, uma revisão dos estudos sobre o clima urbano, fenômenos climáticos como as ilhas de calor e as principais propriedades térmicas dos materiais de construção e seus efeitos sobre a temperatura do ar.

O capítulo II apresenta um referencial teórico sobre a temperatura da superfície, considerada um parâmetro físico relevante quando se deseja mensurar a quantidade de calor, armazenado nos materiais. Além disso, o capítulo II apresenta uma das maneiras mais utilizadas para medição das temperaturas de superfície: a tecnologia do sensoriamento remoto orbital. Foram delineados os principais conceitos sobre o tema, uma descrição dos principais sistemas sensores e discutiram-se os conceitos e métodos de interpretação e análise de dados para as áreas urbanas, em especial a cidade do Recife-PE.

O capítulo III descreve os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, desde a etapa de aquisição dos dados como as imagens de satélite, os arquivos auxiliares, necessários ao geoprocessamento das informações, até a etapa da pesquisa de campo, onde foram situados os pontos de medição, fundamentais para traçar o perfil climático da área.

O capítulo IV apresenta os resultados da pesquisa empírica, ou seja, a análise das variáveis climáticas, suas relações com os aspectos da forma urbana e característica de uso do

terreno. Consoante a isso, são apresentados às análises dos dados de temperatura da superfície nos materiais de pavimentação situados no entorno ao 1ª Jardim de Boa Viagem.

Por fim, são apresentadas as considerações finais sobre os resultados das análises, bem como, são citadas algumas recomendações, visando à mitigação dos efeitos do armazenamento de calor das superfícies urbanas, na qualidade ambiental da cidade.

1. CLIMA E DESENVOLVIMENTO URBANO

1.1. O Conhecimento do Clima: Conceitos e Escalas de Abordagem

Desde os tempos mais remotos, a humanidade sempre almejou conhecer os fenômenos relacionados com a atmosfera terrestre e, por consequência, o clima do lugar onde vive, pois as condições climáticas sempre foram um fator essencial para o estabelecimento de assentamentos humanos.

Essas preocupações estão intimamente relacionadas à sobrevivência da humanidade e à sua proteção em abrigos primitivos contra as intempéries do clima e aos eventos climáticos extremos. Os climas mais rigorosos, como o desértico, com baixíssimo nível de umidade, ou os polares, com invernos longos, dificultam a ocupação da espécie humana.

Figura 1. Prática de irrigação na margem do Rio Eufrates, território do Iraque. Os primeiros agrupamentos humanos necessitavam conhecer as particularidades do clima para antever inundações em planícies fluviais.



Fonte: Página do Ecoviagem¹

As primeiras civilizações aspiravam ao conhecimento das características do clima de um lugar, para determinar, entre outras, quais práticas agrícolas poderiam ser mais produtivas,

¹ Disponível em: <http://ecoviagem.uol.com.br/noticias/turismo/turismo-internacional/mundo-arabe-uma-unica-viagem-varios-destinos-13501.asp>, acesso em Mar. 2015

os tipos de lavouras a serem cultivadas, épocas dos plantios e das colheitas, sobretudo quais modelos de habitação a serem utilizados e localização das cidades.

Na possibilidade de antever grandes inundações em planícies fluviais, períodos de secas prolongadas, invernos rigorosos e outras manifestações naturais, torna-se habitual criar medidas para a mitigação e adaptação aos fenômenos climáticos extremos, evitando-se grandes perdas materiais e humanas. Mendonça & Danni-Oliveira (2007) afirmam que:

Desvendar a dinâmica dos fenômenos naturais, dentre eles o comportamento da atmosfera, foi necessário para que os grupos sociais superassem a condição de meros sujeitos as intempéries naturais e atingissem não somente a compreensão do funcionamento de alguns fenômenos, mas também a condição de utilizá-los e de manipulá-los dos mesmos em diferentes escalas (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007 p.11).

Existem muitas definições para o clima, assim como diferenciações em relação ao tempo atmosférico. Para Sorre (1951) *citado por* (TAVARES, 2007 p.49), o clima é “[...] *o ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera acima de um lugar em sua sucessão habitual [...]*”. Para Dias & Silva (2009, p.15) “[...] *o clima é definido pela média das condições de tempo ao longo de um período de algumas décadas. No dia a dia, temos os sistemas de tempo que provocam a variabilidade que observamos e que afetam as atividades humanas.*” Ayoade (1991, p.02) define ‘tempo’ como sendo “[...] *o estado médio da atmosfera em um determinado momento e local [...]*” enquanto que ‘clima’ seria “[...] *a síntese do tempo num dado lugar durante um período de aproximadamente 30-35 anos*”.

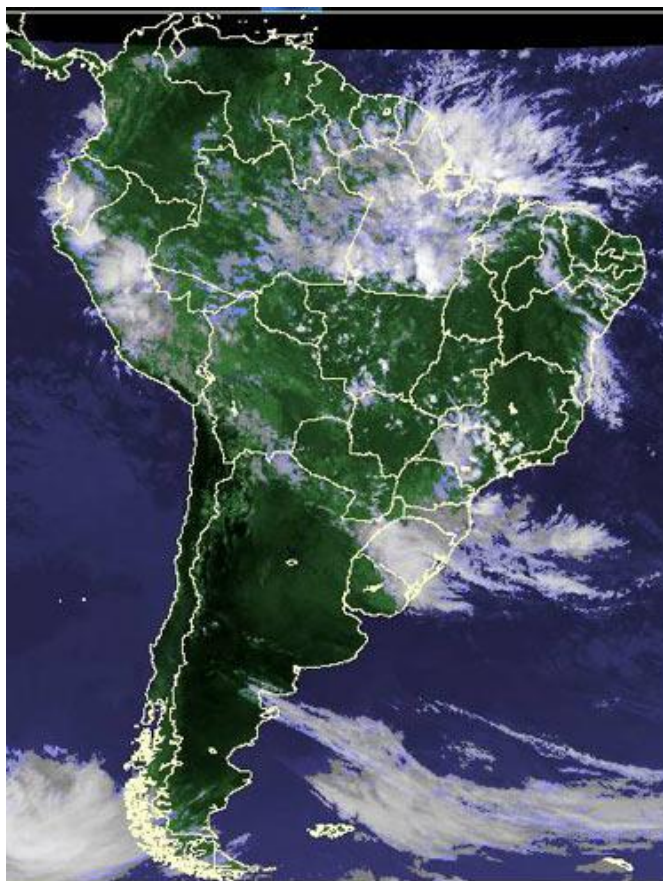
Pelas definições apresentadas por diversos autores, podemos sintetizar o conceito de clima e tempo. Clima é a sucessão habitual dos tipos de tempo. E tempo é uma combinação passageira dos elementos do clima: temperatura, ventilação, umidade e precipitações atmosféricas (chuvas, granizo e neve). Uma combinação mais durável de elementos do clima nos leva ao conceito de tipos de tempos (DIAS & SILVA, 2009). O clima só pode ser determinado ou caracterizado após alguns anos de observação do tempo num certo lugar. Segundo os especialistas é necessário mais de 30 anos de observações, anotações e comparações.

Por muito tempo, a meteorologia e a climatologia faziam parte de um só ramo do conhecimento, tendo como objeto de estudo a atmosfera terrestre. Na Europa dos séculos XVIII e XIX, o conhecimento científico, calcado no positivismo de Auguste Comte, possibilitou a fragmentação do conhecimento em ramos específicos, produzido segundo os

princípios de lógica e método, dando origem a ciência moderna (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Mendonça & Danni-Oliveira (2007) afirmam que “[...] *o estudo da atmosfera pela Meteorologia ficou pertencendo ao campo das ciências naturais (ao ramo da Física), sendo de sua competência o estudo dos fenômenos isolados da atmosfera e do tempo atmosférico* [...]”. A meteorologia é a ciência que estuda os fenômenos atmosféricos, em sua dimensão física. Ela utiliza instrumentos como satélites, radares, balões atmosféricos, bóias marítimas, entre outros, para a medição de elementos e fenômenos atmosféricos. Os dados coletados por esses instrumentos são traduzidos por equações e lidos em software que elaboram modelos matemáticos, a partir dos quais se fazem as previsões do tempo (DIAS & SILVA, 2009).

Figura 2. Imagem de satélite meteorológico sendo utilizado para previsão do tempo, no Brasil.



Fonte: Página do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)²

² Disponível em: [http:// www.cptec.inpe.br/](http://www.cptec.inpe.br/), acesso em Set. 2015

Por sua vez, a climatologia estuda os padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta durante um longo período de tempo (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Esse conceito revela a ligação da climatologia com a abordagem geográfica do espaço terrestre, pois ela se caracteriza em um campo do conhecimento no qual as relações entre a sociedade e a natureza configuram-se como pressupostos básicos para a compreensão das diferentes paisagens do planeta e contribui para uma intervenção mais consciente na organização do espaço. (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007 p.15).

A radiação solar, principal fonte de energia do planeta, pode ser entendida como “a energia transmitida pelo sol sob a forma de ondas eletromagnéticas” (ROMERO, 2000, p. 21-22). A radiação solar constitui uma fonte fundamental de energia para o ciclo hidrológico e o balanço de radiação, influenciando, de forma determinante, o comportamento dos elementos do clima em todas as escalas climáticas.

A radiação solar propaga-se sob a forma de ondas eletromagnéticas, que ao penetrar a atmosfera, sofre os fenômenos de reflexão, difusão e absorção, que condicionam a intensidade da radiação, que irá incidir na superfície terrestre (DIAS & SILVA, 2009). Segundo Ayoade (1991), a energia radiante incidente sobre a superfície terrestre altera o balanço de energia, que através dos processos físicos de convecção, condução e irradiação, aquecem tanto o ar e o solo, respectivamente, elevando a temperatura do ar local.

Os estudos em climatologia geralmente são abordados a partir dos elementos climáticos e fatores geográficos do clima. Os principais elementos que caracterizam o clima de uma região são a temperatura do ar, umidade relativa, ventilação e pluviosidade. Para Freitas (2008), os elementos do clima interagem de forma recíproca, entre si, definindo e caracterizando o clima de uma região, sendo responsáveis pelas nossas percepções de conforto e pelas sensações de frio e de calor. Segundo Mendonça & Danni-Oliveira (2007):

Todavia, esses elementos, em suas diferentes manifestações, variam espacial e temporalmente em decorrência da influência dos fatores geográficos do clima, que são: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e as atividades humanas. A circulação e a dinâmica atmosférica superpõem-se aos elementos e fatores climáticos e imprimem ao ar uma permanente movimentação (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007 p. 15-16).

A temperatura do ar constitui um parâmetro climatológico de importância fundamental para as atividades humanas. Mendonça & Danni-Oliveira (2007, p.49) define temperatura do ar como “[...] *a medida do calor sensível nele armazenado comumente dada em graus Celsius ou Fahrenheit e medida por termômetros.*” Para Ayoade (1991, p.50) “[...] *a temperatura é a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra [...] é o grau de calor que um corpo possui.*”

O desconforto promovido pelas alterações da temperatura do ar é o mais perceptível ao ser humano. A temperatura do ar, também é influenciada, embora indiretamente, pelo aquecimento e resfriamento da superfície terrestre, já que o ar é semitransparente a radiação solar.

A umidade do ar é proveniente da evaporação das águas dos oceanos, rios e superfície úmidas, além do processo de evapotranspiração das plantas. A umidade relativa é sem dúvida, o termo mais utilizado para representar a presença do vapor de água na atmosfera. Mendonça & Danni-Oliveira (2007, p.62) afirma que a umidade relativa “[...] *mostra em porcentagem o quanto de vapor está presente no ar em relação à quantidade máxima possível que nele poderia haver, sob a temperatura em que se encontra.*” A umidade do ar varia progressivamente com a temperatura, consequentemente, a distribuição do vapor de água na atmosfera possui variação no espaço terrestre, sendo mais elevado nas zonas equatoriais, variando nas zonas tropicais e diminuindo nos polos. Termo-higrômetros e psicrômetros são utilizados para medir a umidade relativa do ar.

Outro elemento que caracteriza o clima de um lugar são os ventos. O ar se desloca do ponto no qual a pressão atmosférica é mais alta para onde ela é mais baixa. As diferenças de pressão, provocada pelas variações de temperatura movem as massas de ar. Um bom exemplo é a brisa marítima, resultado da diferença de temperatura entre o mar e o continente.

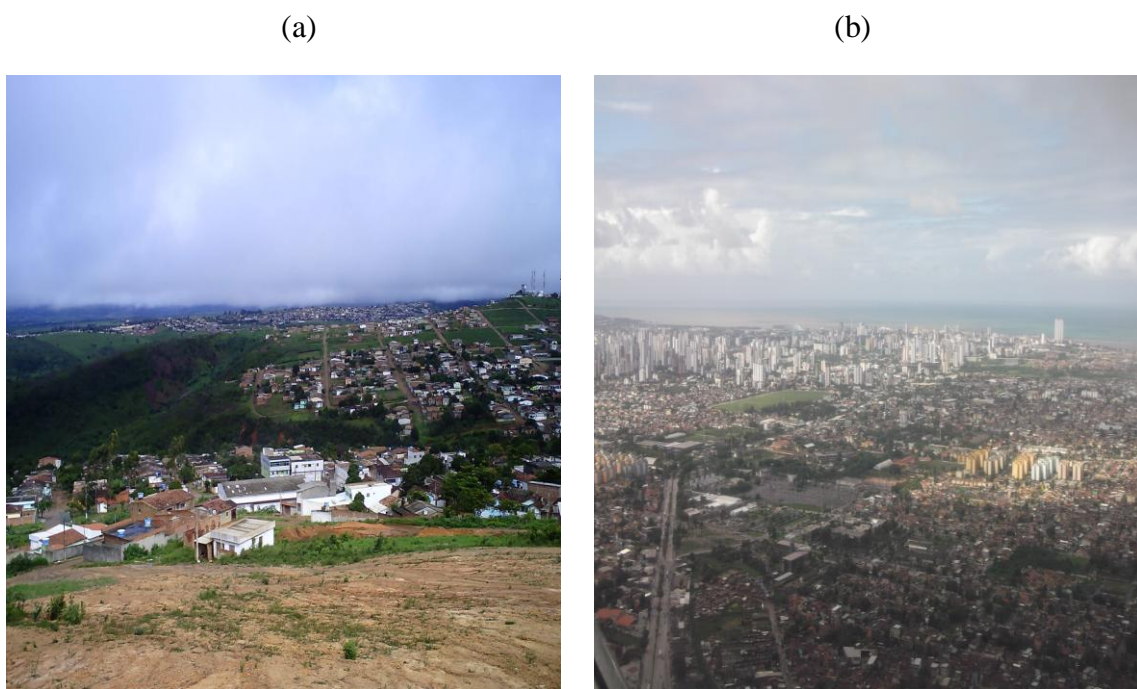
Os fatores geográficos do clima como a latitude, altitude, continentalidade / maritimidade e vegetação são responsáveis pela grande variação espacial e temporal dos elementos climáticos que irão qualificar os distintos climas da terra, e também são responsáveis pela diversificação das paisagens (MELO et al. 2009). Autores como Freitas (2008) afirmam:

Os fatores climáticos como latitude, altitude, continentalidade, correntes marítimas, massas de ar, alteram ou evidenciam as características dos elementos climáticos, condicionando-os a variarem dentro de certos limites. Este fato justifica, a existência de classificações climáticas. A representação dessas, em cartogramas, é importante, como recurso didático na identificação e descrição da terra e diferenciações de suas regiões (FREITAS, 2008 p.65).

A latitude é um importante fator climático, sendo definido como à distância, em graus, de um determinado ponto da superfície da terra em relação à Linha do Equador. A Terra recebe os raios solares com diferentes inclinações.

Segundo Mendonça & Danni-Oliveira (2007), quanto mais perpendicularmente incidir um feixe de raios solares, menor será a área da superfície por ele atingido, conseqüentemente, maior será a concentração de energia por unidade de área. Latitudes próximas ao Equador recebem maiores quantidades de raios solares, incidindo sobre uma área maior da superfície terrestre. Por consonância, as temperaturas médias desses lugares próximos ao Equador serão maiores; e, quanto mais afastado do Equador for o lugar, menores serão as temperaturas.

Figura 3. Imagem de duas localidades que possuem latitudes próximas, porém estão situadas em altitudes diferentes. Na imagem (a) município de Garanhuns e na imagem (b) município do Recife.



Fonte: Macedo, R.X (2008)

A altitude é um dos fatores que exerce maior influência sobre a temperatura do ar. Quanto maior a altitude, menor a temperatura. Isso ocorre porque o ar se torna rarefeito, ou seja, a concentração de gases e de umidade é menor, à medida que aumenta a altitude, o que vai reduzir a retenção de calor nas camadas mais elevada da atmosfera. Em seus estudos sobre climas do Brasil, Mendonça & Danni-Oliveira (2007) afirmam:

Considerando dois lugares de mesma latitude, porém, com altitudes diferentes, aquele que estiver mais elevado terá sua temperatura diminuída na razão média de 0,6°C para cada 100 m de diferença do local mais baixo. As cidades de Curitiba (900 m de altitude média) e Paranaguá (6m de altitude média), por exemplo, apresentam um gradiente vertical médio de 0,3°C/100 m (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007 p. 15-16).

Outro fator que diversifica os padrões climáticos são as massas de ar. Elas constituem-se em corpos de ar com características próprias de umidade, pressão e temperatura. Uma massa adquire suas propriedades no contato com a superfície terrestre. Formam-se numa superfície homogênea, pela pressão atmosférica. Suas características – quente, fria, úmida, seca – dependerão das condições do ambiente em que se formaram e por onde farão sua trajetória (DIAS & SILVA, 2009).

Não raro, muitas dessas massas se encontram durante seu deslocamento, havendo uma troca de calor e umidade entre elas. O encontro de duas massas, geralmente uma fria e outra quente, é denominada de frente. Quando elas se encontram ocorrem chuvas e o tempo muda. As massas de ar tropicais se formam entre os trópicos de Capricórnio e de Câncer.

Elas podem se formar na altura dos oceanos (oceânicas) e serem úmidas; serão secas se forem formadas no interior dos continentes (continental). As massas polares são frias, ou seja, elas se formam em regiões de baixas temperaturas, nas regiões polares (CARVALHO & JONES, 2009). Elas também são secas, visto que as baixas temperaturas não possibilitam uma forte evaporação das águas. As massas equatoriais são quentes, e se formam próximas à linha do Equador (AYOADE, 1991)

Outro fator que interfere de forma significativa no clima é a presença dos continentes e oceanos, continentalidade e maritimidade, respectivamente. A relação entre o volume de terras e a proximidade de imensas superfícies aquáticas exerce grande influência na temperatura.

Isso porque, a água demora a se aquecer, enquanto os continentes se aquecem mais rapidamente. Por outro lado, ao contrário dos continentes, a água demora mais para irradiar à energia absorvida. Por isso, o Hemisfério Norte tem invernos mais rigorosos e verões mais quentes, devido à maior quantidade de terras emersas.

Em lugares que sofrem influência da continentalidade (localizados no interior do continente, distantes dos oceanos) há uma variação maior da temperatura ao longo do dia, com altas taxas de amplitude térmica. Já para regiões próximas ao litoral, não há grandes amplitudes térmicas devido ao calor específico da água ser mais alto que a maioria dos solos.

Portanto, será necessário muito mais calor, e tempo incidente do mesmo, para haver o aumento da temperatura nas superfícies aquáticas.

Figura 4. Imagem da praia de Iracema, Fortaleza, Ceará. Influência da maritimidade em cidades litorâneas.



Fonte: Macedo, R.X (2013)

Para Mendonça & Danni-Oliveira (2007 p.47) “a vegetação desempenha um papel regulador de umidade e de temperatura extremamente importante”. Os mesmo autores ainda afirmam:

Tomando-se por base as áreas florestadas como exemplo, observa-se que suas temperaturas serão inferiores às das áreas vizinhas com outro tipo de cobertura - como campo, por exemplo, uma vez que a copa das árvores atuam como barreira à radiação solar direta, diminuindo a disponibilidade de energia para aquecer o ar. O manto de matéria orgânica formado pelas folhas, frutos e galhos mortos sob as árvores (denominado de serrapilheira) aliado a ação das raízes no solo, bem como a diminuição do impacto das gotas de chuva sobre o mesmo devido a ação das árvores, permitem que os processos de infiltração d’água no solo sejam mais eficientes. Com isso, há o aumento da capacidade do solo de transmitir o calor absorvido, retardando o tempo de aquecimento do ar (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007 p. 47-48).

Segundo Freitas (2008), existem diversas subdivisões para o clima, que depende necessariamente da escala de abordagem adotada e das características da área estudada, podendo ser: macroclimas, mesoclimas e microclimas. O mesmo autor ainda afirma que:

O clima pode ser estudado por meio de sua dimensão espacial e de sua dimensão temporal, sendo as duas dimensões, de forma geral, empregadas conjuntamente nos

mais variados estudos. As escalas espaciais ganham maior destaque na abordagem geográfica do clima, sendo as mais conhecidas as escalas macroclimáticas, mesoclimáticas e microclimáticas (FREITAS, 2008 p.65).

O macroclima é a maior unidade de análise climática, com áreas superiores à ordem de milhões de Km². O nível macroclimático compreende áreas muito extensas da superfície terrestre, sendo influenciado pelos parâmetros climáticos globais. As zonas climáticas definidas desde os gregos e que são mais conhecidas como zona tórrida, tropical, temperada, frígida e polar (AYOADE, 1991).

O mesoclima constitui-se como uma unidade intermediária, com extensão espacial dos climas bastante variável. O nível mesoclimático é a interação da energia disponível para evaporação e formação dos campos de pressão e as características do meio terrestre. Diz respeito à influência da circulação atmosférica sobre toda a cidade e corresponde a uma distância horizontal maior que 10 km (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). O clima local e o topoclima correspondem a subunidades do mesoclima. Aspectos específicos de determinado local, como uma metrópole, uma área agrícola, uma floresta caracterizam o clima local. O segundo é definido pelo relevo; ambos, entretanto, estão inseridos no clima regional.

O microclima é a menor e mais imprecisa unidade de análise climática, com áreas na ordem de alguns m² e são resultado das variações climáticas decorrentes de um espaço de proporções reduzidas, onde os principais elementos climáticos (temperatura e umidade do ar, radiação, e velocidade do vento) sofrem influência direta do seu entorno: elemento geográfico (topografia), edificações (altura, ocupação), malha urbana, revestimentos, vegetação (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Em seus estudos sobre o adensamento construtivo e suas repercussões sobre o clima urbano na cidade do Recife, Freitas (2008) afirma:

A escala micro também é extremamente relevante para a arquitetura, uma vez que se relaciona às rugosidades, onde cada edifício, árvore, ou parede, vai constituir um fator transformador da qualidade ambiental, em espaços externos dos ambientes urbanos. Esta é a escala em que os elementos climáticos interagem diretamente com os usuários e até com as nuances de uma praça, de uma rua ou com o interior de uma edificação (FREITAS, 2008 p.67).

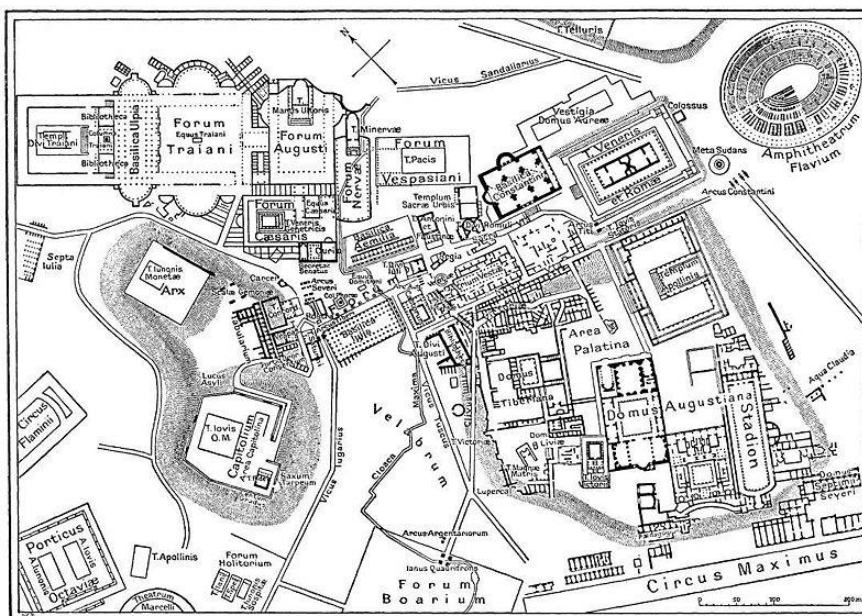
1.2. Clima Urbano

Conforme os estudos de diversos autores (MORENO, 2002; ROMERO, 2007; BARBIRATO *et al.* 2007; HIGUERAS, 2006 e FREITAS, 2008) desde o período pré-histórico o ser humano se preocupou em estabelecer um ambiente construído em consonância com as condições ambientais do meio externo. Dentre os componentes naturais, o clima é um importante fator responsável pelas diferentes tipologias arquitetônicas.

Barbirato *et al.* (2007, p.10) afirma que “*historicamente, as cidades gregas eram implantadas em função do sol, de modo que as suas edificações pudessem estar voltadas para as ruas orientadas a leste – oeste*”. Para Moreno (2002, p.25) “*os romanos, ao criarem e administrarem seu vasto império, contribuíram em muito para semear a civilização urbana em quase toda a Europa*” o mesmo autor ainda afirma:

Do ponto de vista urbanístico, as cidades romanas se caracterizavam pelo exibicionismo exagerado, com suas numerosas estátuas e obeliscos, bem como pela robusta engenharia. O Império Romano potencializa o traçado regular das cidades com os conceitos de eixos norte-sul e leste-oeste, expressão máxima de sua organização (MORENO, 2002, p.25-26)

Figura 5. Traçado urbano do Fórum Romano.



Fonte: página do helenadegreas³

³ Disponível em: <http://helenadegreas.wordpress.com/tag/espaco-publico>, acesso em Set. 2015

O traçado de ruas estreitas e os edifícios formados por estruturas de diversos andares, características dos habitat primitivos da civilização islâmica, próprios de climas quentes e secos, demonstram uma resposta inteligente a necessidade de sombreamento naquela região (HIGUERAS, 2006). Autores como Barbirato et al. (2007) afirmam:

Na cidade medieval encontram-se vários elementos que demonstram adaptação ao clima e ao lugar. O morador medieval procurava proteção contra o vento do inverno, evitando a construção de túneis de ventos, tais como a rua reta e larga. Além de estreitas e irregulares, as ruas medievais apresentavam curvas abruptas e interrupções, becos sem saída, para quebrar a força do vento (BARBIRATO *et al.* 2007 p.10).

Figura 6. Traçado urbano da cidade de Braga-PT medieval, século XII.



Fonte: Página da Arquitetura portuguesa⁴

No século XVI, as grandes navegações disseminaram a presença europeia no mundo, ao mesmo tempo em que exigiram a formulação de políticas para assentamentos construídos nos novos territórios (MORENO, 2002). O mesmo autor ainda afirma:

Felipe II, legislando sobre o assunto, recomendava que os novos povoamentos criados pelos espanhóis começassem pela praça central, cujo tamanho deveria ser proporcional ao número de habitantes, tendo presente que as cidades das Índias, mesmo novas, estão destinadas a crescer. Da praça saíam as quatro ruas principais, que começariam no ponto médio de cada um dos lados do logradouro, e duas mais que começariam de suas esquinas. As ruas seriam largas nas regiões frias e estreitas nas mais ensolaradas.

⁴ Disponível em: <http://arquiteturaportuguesa.pt/urbanismo-em-portugal>, acesso em Set. 2015

As igrejas nunca ficariam no centro da praça, e sim numa de suas laterais, separadas dos outros edifícios. Os prédios ao redor da praça deveriam ser não particulares, mas destinados à Igreja, ao governo e ao comércio (MORENO, 2002 p.34-35).

Para Morris (1998 p.385) no Brasil, “[...] *os portugueses foram menos metódicos que os espanhóis na fundação de seus assentamentos e não desenvolveram um conjunto coerente de regras de planejamento urbano comparável com o que fizeram os espanhóis*”.

O século XIX foi marcado pelos efeitos da Revolução Industrial nas cidades. As primeiras consequências foram às migrações da população campesina para as recentes unidades industriais implantadas em áreas urbanas. Esse deslocamento resultou no aumento da população urbana, em cidades cuja infraestrutura de equipamentos e serviços não eram suficiente para atender as condições mínimas de habitabilidade.

Figura 7. Gravura de Gustave Doré sobre a Didley Street, em 1872. Utilizada por Benévolo para ilustrar o período.



Fonte: Página da Arquitetura da Liberdade⁵

⁵ Disponível em: <http://arquiteturadaliberdade.wordpress.com>, acesso em Set. 2015

Logo, surgiram condições de insalubridades e poluição nas vilas operárias. Médicos e sanitaristas denunciaram as precárias condições de vida e habitabilidade nas vilas operárias. Na década de 1880, Londres era a única cidade do planeta com mais de 5 milhões de habitantes (UN, 2014). Conforme elucida Rolnik:

A indústria colocou para a cidade questões novas – ela é ao mesmo tempo seu espetáculo e seu inferno. É sobre seu desígnio que se gera a diversidade – de produtos, de populações – que faz a cidade industrial um universo estimulante e vibrante; que faz com que se amplie ao infinito a capacidade humana de inventar. Mas, se a possibilidade de superação dos constrangimentos da natureza na cidade industrial não tem mais limite, não tem mais limite também a capacidade de destruição e violência (ROLNIK, 1988 p.83)

O planejamento urbano no século XX teve como base essa percepção negativa, herdada do século anterior. Em 1898, um estenógrafo chamado Ebenezer Howard decidiu expor suas ideias de como deveria viver a humanidade. Ele acreditava que era preciso interromper o crescimento urbano, incentivando as pessoas a sair das metrópoles e migrar para as autônomas “cidades-jardins”. Para Freitas (2008):

Howard propôs uma cidade com forma circular, abrigoando 58 mil habitantes e rodeada por 6 outras cidades de 30 mil habitantes cada, totalizando 250 mil habitantes, numa área de 400 hectares cada, em área edificada e mais 2000 hectares de área agrícola e comum. As habitações estariam separadas das edificações institucionais, museus, bibliotecas, igrejas, escolas, por parques e largas avenidas. (FREITAS, 2008 p.155-156)

Nas “cidades-jardins” os moradores desfrutariam de uma combinação harmônica do campo e da cidade. Viveriam em residências agradáveis em meio a jardins em pequenos núcleos urbanos, se deslocariam a pé até as fábricas instaladas em suas periferias e se alimentariam dos produtos cultivados em um cinturão verde mais externo – que impediria a nova cidade de se expandir pela área rural circundante (HIGUERAS, 2006).

Howard estava certo a respeito do desejo humano de viver em condições menos precárias, mas se equivocou quanto ao futuro das cidades: no fim, o que prevaleceu sobre todo o planeta foi a urbanização. A urbanização começou a se generalizar no século XIX, envolvendo as nações que viveram a Revolução Industrial. Nos países em desenvolvimento, a urbanização intensificou-se a partir de meados do século XX, graças, principalmente, à expansão da industrialização (CARLOS, 2001).

Podemos definir urbanização como o processo de formação ou de ampliação das áreas urbanas, em contraposição às áreas rurais (CORREA, 1999). As regiões urbanas caracterizam-se pela alta densidade populacional, alta densidade construtiva, predominância de atividades econômicas relacionadas ao comércio, serviços e indústrias e pela existência de equipamentos públicos de uso coletivo, como escolas, hospitais e centros de lazer (CORREA, 1999).

Segundo o relatório *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, ou seja, *Perspectivas Mundiais de Urbanização 2014* da ONU (Organização das Nações Unidas), 54% da população vivia na região urbana e 46% em área rural em 2014. Essa é uma tendência que vem se firmando desde 2008, quando pela primeira vez na história a população das cidades superou a das áreas rurais, conforme dados da ONU.

A tendência é que esse número aumente ainda mais, já que, segundo a ONU, o crescimento populacional será maior nas áreas urbanas. Em 1950, 30% da população mundial habitavam as cidades e, em 2050, deverá atingir 66% segundo as projeções (UN, 2014). Em 2050, as áreas urbanas devem receber não apenas grande parte do crescimento populacional como também uma parte da população rural, com um acréscimo de 2,5 bilhões de pessoas (UN, 2014).

No Brasil, a definição de área urbana baseia-se em critérios administrativos, determinados por lei. O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) considera zona urbana toda sede de município (cidade) e de distrito (vila), independente do tamanho da população e da densidade demográfica. Segundo a PNAD (Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios) no ano de 2013, 84,7% dos brasileiros habitam atualmente as zonas urbanas.

Com o aumento da urbanização a área das cidades se amplia. Os limites entre municípios vizinhos – ou entre um município e seus subúrbios – se confundem e, onde antes existiam várias cidades, passa a haver uma única mancha urbana. Esse processo é conhecido como conurbação e aparece no Brasil na década de 1970, fazendo surgir às regiões metropolitanas (CORREA, 1999).

Quando não há o planejamento necessário, o crescimento das áreas urbanas torna os equipamentos e serviços públicos insuficientes para a maior parte da população. A urbanização causa grandes impactos ambientais nas cidades em que se processou com maior intensidade.

A remoção da cobertura vegetal para a implantação de edifícios, vias de circulação e equipamentos urbanos, consistem no mais expressivo cenário de mudanças que caracterizam

o processo de urbanização. Entretanto, a atmosfera sobre a cidade é um dos componentes naturais que mais sofrem modificações ocasionadas pelo processo de urbanização.

O conceito de clima urbano está intimamente relacionado com as modificações dos elementos climáticos, principalmente a temperatura do ar, umidade, direção e velocidade dos ventos, pluviosidade, em relação a regiões mais longínquas, como as áreas suburbanas e o meio rural circundante. Essas modificações são afetadas tanto por condições meteorológicas, insolação e nebulosidade, como também pela morfologia urbana e propriedades dos materiais de revestimento do solo (ASSIS, 2011).

Figura 8. Contrastes da urbanização: Favela da Rocinha, situada na zona sul do Rio de Janeiro - RJ, entre os bairros da Gávea e São Conrado.



Fonte: Página do Soul brasileiro⁶

Lombardo (1985), afirma que o clima urbano [...] “*é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e a sua urbanização. É um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos.*” Mendonça (2013), em seu estudo sobre o clima e planejamento urbano de Londrina – PR afirma que:

O clima constitui-se numa das dimensões do ambiente urbano e seu estudo tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento da questão ambiental das cidades. As condições climáticas dessas áreas, entendidas como clima urbano, são

⁶ Disponível em: <http://soulbrasileiro.com.br/main/rio-de-janeiro/favelas/rocinha/rocinha/>, acesso em Abr. 2015

derivadas da alteração da paisagem natural e da sua substituição por um ambiente construído, palco de intensas atividades humanas (Mendonça, 2013 p.93).

Os estudos sobre o clima urbano tem sido alvo de diversas pesquisas científicas e do planejamento de intervenções urbanas, visto que a demanda por um espaço urbano sustentável adquiriu significado nos últimos anos, tornando-se item indispensável nas reuniões de gestores públicos, pesquisadores, políticos e demais segmentos da sociedade.

Segundo a literatura especializada (LANDSBERG, 1981; CHANDLER, 1965; MONTEIRO, 1976; LOMBARDO, 1985; MONTEIRO & MENDONÇA 2013; HIGUERAS, 2006; FREITAS, 2008; GARTLAND, 2010;), os primeiros estudos publicados sobre climas urbanos foi realizado por Luke Howard, em 1818. Nesse trabalho Howard refere-se aos efeitos provocados pelas ilhas de calor no centro urbano de Londres, após analisar as observações meteorológicas para a cidade.

Lombardo (1985 p.29), afirma que os trabalhos de Landsberg (1981) e Chandler (1965) são considerados clássicos, evidenciando uma abordagem nitidamente meteorológica da atmosfera urbana segundo uma perspectiva estatística e descritiva.

Landsberg (1981), quando da posse dos dados de temperatura do ar, umidade relativa, pluviosidade e velocidade do vento, analisou as diversas alterações existentes entre esses elementos, quando em contato com a área urbanizada. Chandler (1965) afirma que devido as alterações em superfície, ambientes urbanos tendem a modificar o clima, produzindo aumento de calor e da precipitação, assim como modificações na ventilação e umidade, provocando alterações na composição da atmosfera de áreas urbanas.

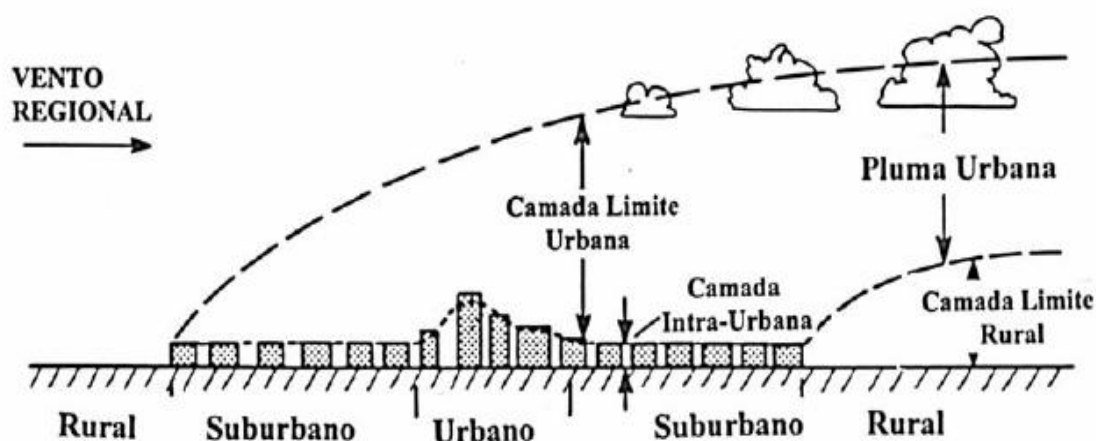
Fukui (1964) *citado por* Lombardo (1985, p.30) considera que os padrões climáticos das áreas urbanas são diferentes das zonas circunvizinhas a cidade. Tais condições são produzidas pelo calor artificial e fumaça continua em áreas densamente povoadas e que possui equipamentos urbanos como edifícios de concreto, cimento e pavimentação asfáltica.

A partir da década de 1970, as pesquisas sobre os efeitos da urbanização na formação e dinâmica do clima foram sendo sistematizadas, destacando-se nesse panorama, as pesquisas desenvolvidas por Timothy Oke.

As investigações iniciais basearam-se na correlação do aumento de temperatura e da população da cidade. Posteriormente, sua análise evoluiu pra observação dos fluxos de calor no ambiente urbano, inovando a partir da abordagem da análise de correlações entre as variáveis de planejamento e o clima da cidade (OKE, 1982).

Sendo assim, Oke (1978) com o objetivo de estudar a atmosfera que surge pela influência urbana, propõe a divisão camada de estudos do clima urbano em dois níveis. A primeira identificada como Urban Canopy Layer (UCL) - Camada Intra-Urbana, que se estende desde o solo até a altura média dos edifícios no recinto urbano e a segunda denominada Urban Boundary Layer (UBL) - Camada Limite Urbana. Esta distinção introduzida por Oke é de extrema importância, uma vez que, delimita os fenômenos físicos subjacentes entre a atmosfera e o espaço urbano.

Figura 9. Escala climática vertical na área urbana.



Fonte: Oke, T.R (1978)

O referencial teórico-metodológico que ficou conhecido por Sistema de Clima Urbano – SCU – desenvolvido por Monteiro (1976), quando da elaboração de sua tese de livre docência, na Universidade de São Paulo (USP), fundamenta-se na identificação detalhada de feições topográficas do sítio urbano, pois a partir delas, também é possível conhecer os fatores que causam a diferenciação climática do ambiente urbano, influenciando na formação de microclimas.

O mesmo autor, ainda enfatiza a importância das características no processo de produção do espaço urbano, particularmente nas mudanças espaço-temporal do uso e cobertura do solo, na compreensão das condições meteorológicas da atmosfera urbana, bem como na detalhada representação cartográfica, utilizada como suporte ao estudo do clima das cidades (MONTEIRO, 1976).

Os fatores climáticos antrópicos, agindo de maneira relacionada, geralmente contribuem para o aumento da temperatura e a diminuição da umidade relativa, além de modificarem a constituição química do ar, assim como a velocidade e direção dos ventos (ROMERO, 2000).

A influência que as áreas urbanas e sua forma possuem sobre o clima tem sido destacada por vários pesquisadores. Segundo Freitas (2008), os principais fatores antrópicos na formação dos climas urbanos são a densidade construtiva, as atividades antrópicas e a impermeabilização do solo.

A densidade construtiva representa um dos mais importantes fatores para a formação dos climas urbanos vindo a constituir uma relevante linha de trabalho no campo da forma urbana. Para Barbirato et al. (2007):

A densidade de construção corresponde aos aspectos relacionados a taxas de ocupação da área construída, distância entre as edificações e altura média dos edifícios, além de detalhes da estrutura urbana como tamanho e forma das edificações e posição relativa entre as mesmas. Há estreita correlação entre densidade populacional e condições de conforto dentro de uma estrutura urbana (BARBIRATO *et al.* 2007 p.45).

Figura 10. Cinturão de Prédios, próximo ao estádio de futebol Serra Dourada, em Goiânia - GO.



Fonte: Macedo, R.X (2013)

Dentre os elementos da estrutura urbana que contribuem para a elevação da temperatura da cidade, Givoni (1998) destaca a densidade construída, a depender de como ela é constituída, apresenta uma relação de causa mais forte com o aquecimento urbano.

Santana (1997), em seu estudo sobre o clima urbano da cidade de Fortaleza-CE, verificou que durante o dia, as temperaturas do ar mais elevadas foram registradas nas zonas de maior densidade de edificações, com sombreamento reduzido e pouca vegetação, embora as áreas verticalizadas tenham apresentado temperaturas mais amenas no período da manhã, por apresentar mais massa edificada, necessitando de mais tempo para se aquecer.

Lombardo (1985) verificou que os maiores gradientes de temperatura na cidade de São Paulo, ocorriam nas áreas mais verticalizadas e com pouca cobertura vegetal, resultando assim em uma diferença de até 10 °C entre o centro e a periferia.

As atividades humanas afetam o clima de diversas maneiras, sobretudo no aumento do Calor Antropogênico. Para Gartland (2010 p.34) *“O calor antropogênico é gerado pelas atividades humanas e é proveniente de diversas fontes, como edifícios, processos industriais, carros e até mesmo as próprias pessoas”*. De acordo com Barbirato (2007 p.42) *“O ambiente da cidade gera modificações climáticas devido às fontes adicionais de calor, de caráter antropogênico[...]”*

A energia elétrica é utilizada na iluminação, na refrigeração, no aquecimento, tanto em bairros residências, comerciais e distritos industriais. Os sistemas de transportes consomem energia proveniente, sobretudo, dos derivados do petróleo. Um montante de energia é consumido e reintroduzido no ambiente, assim como pelas atividades industriais, pelos setores de comércio e serviços, pelos resíduos das atividades humanas, contribuindo para a formação dos climas urbanos.

A impermeabilização do solo, com a utilização de materiais inadequados, induz a formação de microclimas e possibilita uma série de efeitos adversos sobre o clima local, tais como o aumento da temperatura, diminuição da umidade relativa do ar, aumento na ocorrência de chuvas intensas e, conseqüentemente, as enchentes.

Esses fenômenos associados provocam o surgimento, ou intensificação, de diversos outros fenômenos como as ilhas de calor urbanas, produzindo condições de estresse, que podem afetar à saúde e a produtividade humana; o aumento do consumo energético para a refrigeração artificial dos edifícios; a concentração de ar poluído e a diminuição da ventilação natural. De acordo com Freitas (2008):

A superfície do solo é extremamente modificada em função da substituição da cobertura vegetal pelos volumes edificados e pelas vias de circulação. A depender dos materiais utilizados e do seu calor específico, interferirá sobre o albedo, que é o calor absorvido por um material e em seguida refletido de volta para o ambiente [...] as elevadas temperaturas das superfícies pavimentadas provocam também a elevação da temperatura do ar e de outras superfícies do entorno. Essas características de aquecimento são agravadas quando a forma urbana não favorece o desprendimento do calor (FREITAS, 2008 p.91).

Figura 11. Área de intensa impermeabilização no bairro de Boa Viagem, Recife – PE.



Fonte: Macedo, R.X (2014)

Asaeda et al. (1996) mediu o fluxo de calor de asfaltos e concretos tradicionais, na cidade de Tóquio, capital do Japão. O calor armazenado nessas superfícies impermeabilizadas foi absorvido pela camada inferior da atmosfera e elevou as temperaturas do ar próximo ao solo. Um pavimento asfáltico com refletância solar de 10% chegou a 66°C às 13h. Um pavimento de concreto com refletância de 45% chegou a 49°C às 13h (ASAEDA et al. 1996).

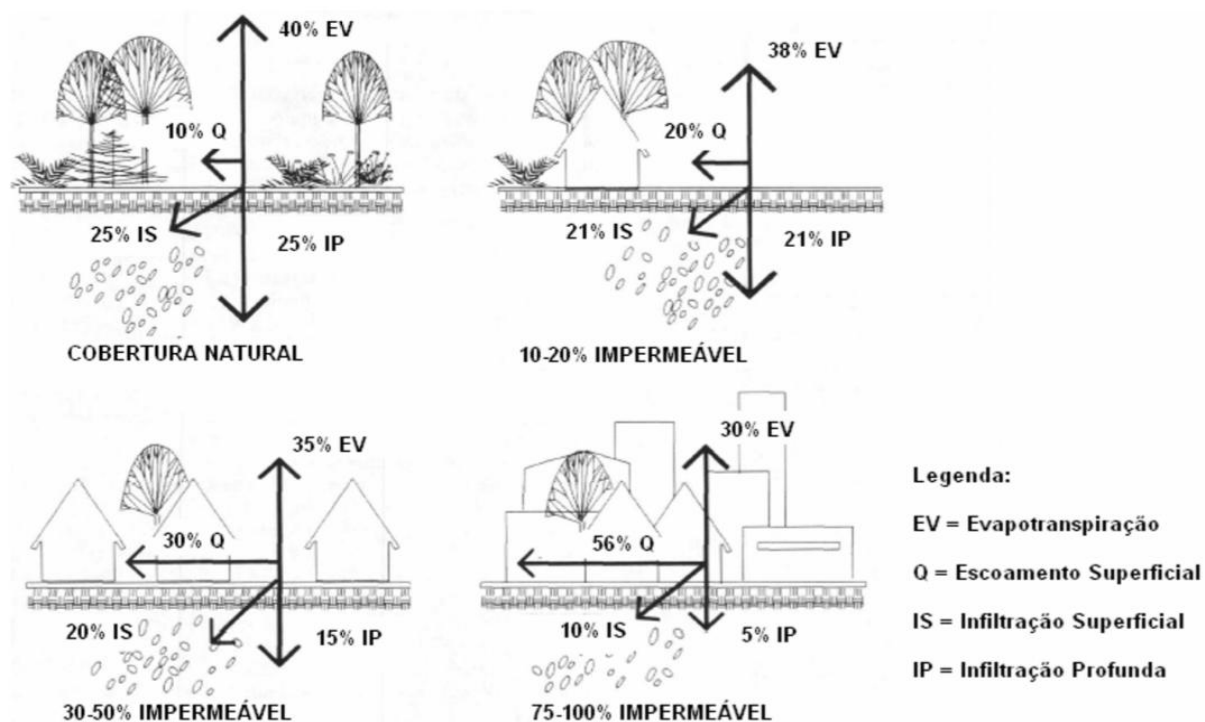
Segundo Avissar (1992), quando a área urbana é parcialmente coberta com vegetação, o gradiente no fluxo de calor latente e calor sensível entre as áreas urbana e rural é reduzido. Por exemplo, o aumento da cobertura vegetal de 0 (zero) para 100% reduz o

gradiente do fluxo do calor sensível de, aproximadamente, 45 W.m⁻² para 0 (zero) W.m⁻², aumentando consequentemente o calor latente.

De acordo com Esteves (2006), os problemas relacionados a enchentes, nas grandes metrópoles, são agravados pela intensa impermeabilização do solo. Analisando a figura 12, é possível deduzir que, mesmo nos dias de pouca precipitação a velocidade do escoamento superficial aumenta, pois as superfícies impermeáveis não filtram a água da chuva, oferecendo menos resistência à drenagem (ESTEVES, 2006).

Nos eventos de intensas precipitações na cidade, a água da chuva irá se infiltrar, com maior facilidade, em superfícies de solo natural coberto por vegetação. Isso diminui o acúmulo de drenagem natural em superfícies urbanas, evitando enchentes catastróficas. Quando o solo é desnudo, solo exposto, a taxa de infiltração da água tende a ser menor, aumentando o nível de escoamento superficial das águas pluviais.

Figura 12. Esquema exemplificando as alterações no escoamento da superfície relacionando a porcentagem de impermeabilização do solo.



Fonte: Esteves (2006)

A impermeabilização do solo urbano também gera impactos relacionados à qualidade da água. As superfícies impermeáveis acumulam poluentes depositados da atmosfera, do

tráfego de veículos e de outras fontes. A água de escoamento superficial transporta aos corpos receptores os poluentes que antes estavam depositados nas superfícies impermeáveis. Tais contaminantes podem ser organismos patogênicos, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo), pesticidas, metais tóxicos, óleos e graxas (SCHUELER, 1994).

1.3. Ilhas de Calor Urbano

O fenômeno ilhas de calor está intimamente relacionado com as transformações que ocorrem na superfície urbana e na baixa atmosfera. Nesse sentido, Lombardo (1985, p.23) afirma [...] *“as cidades contribuem para a alteração do balanço de energia, gerando bolsões sobre as áreas urbanas denominadas de ilhas de calor. Este fenômeno reflete a interferência do homem na dinâmica dos sistemas ambientais.”*

O fenômeno Ilhas de Calor normalmente se manifesta em zonas com altas densidades construtivas, com baixa permeabilidade aos ventos, onde se verificam ambientes com temperaturas do ar maiores que o entorno circundante. Este fenômeno intensifica-se no início da noite, em decorrência do aumento no armazenamento de calor durante o dia e da liberação de calor durante a noite.

Desta forma, sem a liberação de energia imediata proporcionada pela evaporação, as áreas urbanas e suburbanas são forçadas a armazenar mais energia durante o dia. A energia armazenada é liberada de volta a atmosfera durante a noite, principalmente por meio de emissões radiantes aumentadas em menor escala, por meio da convecção aumentada” (GARTLAND, 2010, p.29).

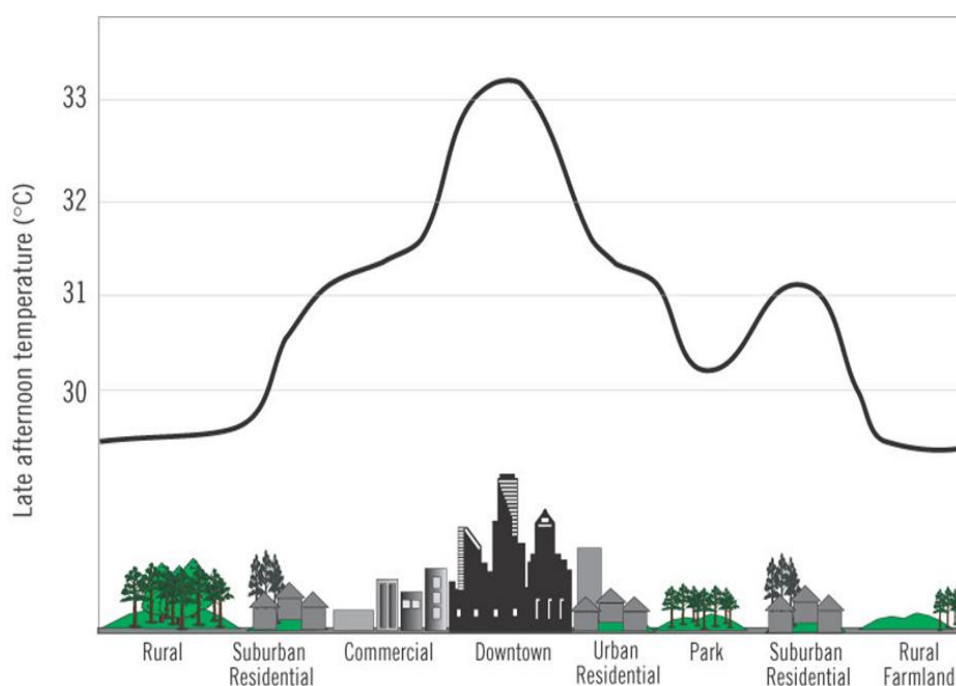
A diferença da temperatura do ar entre o urbano e o entorno suburbano, ou rural pode chegar a 10°C. Áreas destinadas à agricultura, em média apresentam entre 20 a 25% de refletância, absorvendo cerca de 80% das radiações que atingem a superfície terrestre. Enquanto isso, superfícies asfálticas são avaliadas em torno de 10% no que se refere à refletância de alvos terrestres, chegando a armazenar cerca de 90% da radiação, em seguida emite a mesma radiação - armazenada sobre a forma de calor e emitida em ondas longas – para o ambiente (GARTLAND, 2010).

O fenômeno das ilhas de calor ocasiona modificações nas correntes de vento dentro de áreas urbanas. Essa alteração dependerá do tipo de tempo atmosférico, da posição orográfica, da morfologia das construções e do sítio urbano.

A radiação solar que entra na cidade é menor em relação às áreas vizinhas, devido à grande quantidade de aerossóis presente na atmosfera urbana. A camada de poluentes que se forma sobre as superfícies urbanas dificulta o escoamento e a dispersão do calor. Parte da radiação absorvida pelos aerossóis será emitida para baixo, aquecendo, assim, as camadas inferiores. Uma parcela do calor será absorvida e reemitida pela superfície (LOMBARDO, 1985 p. 25).

As principais causas da ilha de calor urbano são: geometria urbana, poluição do ar, tráfego intenso, metabolismo dos organismos vivos, emissão de calor a partir dos edifícios, cobertura do solo e materiais de construção. De modo a contribuir para o desenvolvimento do presente estudo, interessa-nos particularmente os dois últimos aspectos: emissão de calor a partir dos edifícios, cobertura do solo e materiais de construção.

Figura 13. Gráfico demonstrativo dos valores da temperatura do ar em áreas comerciais, residenciais, no centro da cidade e na zona rural circunvizinha. É possível perceber que a temperatura do ar aumenta com a concentração da massa edificada.



Fonte: Página do Mundo Educação⁷

Oke (1978), ao investigar os fatos que causam a formação da ilha de calor, demonstrou que a geometria urbana e a propriedade térmica das superfícies são as

⁷ Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com.br>, acesso em Mai. 2015.

características mais relevantes pela diferença no balanço de energia e nas taxas de resfriamento entre os meios urbano e rural.

A forma urbana também contribui para o armazenamento de calor nas cidades. A energia é radiada de maneira difusa ou regular em todas as direções. *“Em uma superfície de solo, cercada por edifícios, muita radiação é capturada pelas paredes ao invés de escapar para a atmosfera. Os chamados cânions dificultam o arrefecimento de áreas urbanas”* (GARTLAND, 2010 p. 33).

Figura 14. Imagem exemplificando a forma urbana em cânions, no bairro de Boa Viagem, Recife – PE.



Fonte: Macedo, R.X (2014)

O aquecimento das superfícies pavimentadas influencia também, na elevação da temperatura do ar. *“Essas características de aquecimento e a transmissão desse para o ambiente são agravados quando a forma urbana não favorece o desprendimento do calor.”* (FREITAS, 2008, p.89).

Para realizar a medição das ilhas de calor urbanas podem ser utilizados diversos tipos de análises como a utilização de estações fixas, transectos móveis e técnicas de sensoriamento remoto.

Para Gartland (2010), as estações fixas constituem o método mais simples e comum para analisar uma ilha de calor. Esta abordagem consiste em comparar dados sobre as

condições meteorológicas de duas ou mais localidades fixas. A maioria dessas estações meteorológicas armazenam dados de temperatura do ar, umidade, velocidades dos ventos, precipitações e radiação solar. Com o advento da internet, essas informações têm sido disponibilizadas com relativa facilidade e sem custos para os pesquisadores.

Gartland (2010, p.38) afirma que *“Arquivos contendo dados meteorológicos colhidos ao longo de muitos anos são úteis para avaliar as tendências de uma ilha de calor ao longo do tempo, à medida que uma região é urbanizada.”* No entanto, se um único par de estações fixas (uma rural e outra urbana) é utilizado para avaliar uma ilha de calor, é importante escolher os locais a serem analisados (GARTLAND, 2010).

Freitas (2008) utilizou-se da observação dos dados disponíveis na PCD Recife e constatou a formação de varias ilhas de calor através de medições de temperatura realizada em diversos pontos do município do Recife. O mesmo aponta que os cruzamentos da Avenida Conde da Boa Vista com a rua do Hospício e o cruzamento entre a Avenida Domingos Ferreira e a Rua Antônio Falcão apresentavam temperaturas superiores a 30,0°C. Estas áreas foram classificadas como áreas desconfortáveis pelo autor.

O transecto móvel é um procedimento utilizado na investigação das ilhas de calor e consiste em percorrer um trajeto predeterminado por uma área, parando em locais representativos para obtenção de dados utilizando apenas um tipo de instrumentação (Mendonça & Danni-Oliveira, 2007). Os modais de transporte podem ser os mais variados, desde bicicletas (quando a área de estudo for pequena) até automóveis (para áreas de estudo maiores). Os transectos móveis podem ser utilizados a qualquer hora do dia ou da noite, embora isso às vezes dependa das condições de transito. No entanto, Gartland afirma que:

Existem algumas desvantagens na utilização do método de transecto móvel para medir ilhas de calor. Uma delas é a impossibilidade de obter medições simultâneas em diferentes localidades. É possível utilizar dois jogos ou mais de instrumentos para medição móvel ao mesmo tempo, mais isso, no mínimo duplicaria os custos de equipamento. A maioria dos transectos pode ser executada em menos de uma hora, porém as condições podem variar significativamente durante esse período. (GARTLAND, 2010 p.38)

Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno pela análise de dados adquiridos por um instrumento que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (JENSEN, 2009). Esses instrumentos recebem o nome de sensores remotos. O sensoriamento remoto é utilizado para

medir temperaturas e outras características de superfícies, como por exemplo, a vegetação por meio da energia refletida e/ou emitida a partir dela.

Gartland (2010) afirma que a principal vantagem da utilização do sensoriamento remoto está na visualização de temperaturas de superfícies em grandes áreas. No entanto o sensoriamento remoto mostra apenas uma vista panorâmica de temperaturas urbanas, deixando de fora temperaturas de superfícies verticais como as paredes das edificações (GARTLAND, 2010).

Estudos sobre a temperatura da superfície na cidade do Recife (MOREIRA & NÓBREGA, 2011; OLIVEIRA, 2012; BARROS et al., 2010; MOREIRA & GALVÍNCIO, 2007), utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, evidenciam mudanças nas características do uso e cobertura do solo na cidade do Recife, apresentando nos últimos anos, um elevado percentual de áreas cobertas por materiais de revestimentos, e um reduzido percentual de áreas vegetadas e espelhos d'água.

O presente estudo utiliza-se da tecnologia do sensoriamento remoto orbital para delimitar a área de estudo. No capítulo II será discutido, com mais detalhes, os principais conceitos e métodos de interpretação e análise de dados dos sistemas sensores, assim como sua contribuição, para valorizar a temperatura da superfície como um fator para a temperatura ambiente.

1.4. Propriedades Térmicas dos Materiais

Segundo Arnold & Gibbons (1996), superfícies impermeáveis podem ser definidas como áreas constituídas de qualquer material que impeça a infiltração das águas pluviais no solo, dificultando a dissipação do calor por meio da evaporação.

O presente estudo pretende analisar os espaços públicos – ruas, calçadas, passeios, avenidas, canteiro central, praças – em recintos urbanos específicos, situados no bairro de Boa Viagem, zona sul da cidade do Recife-PE. O enfoque principal deste trabalho está no comportamento térmico dos materiais de revestimento do solo, encontrados nesses recintos urbanos. Esses materiais apresentam propriedades térmicas bastante peculiares. Eles absorvem a radiação solar, tanto a direta, quanto a difusa, e armazenam a energia em seu interior, sob a forma de calor.

Para Barbirato et al. (2007, p.46) são propriedades térmicas dos materiais constituintes de superfícies impermeáveis: “[...] o albedo, absorvância à radiação solar, emissividade, inércia térmica e índices de impermeabilidade dos materiais [...]”. A referida

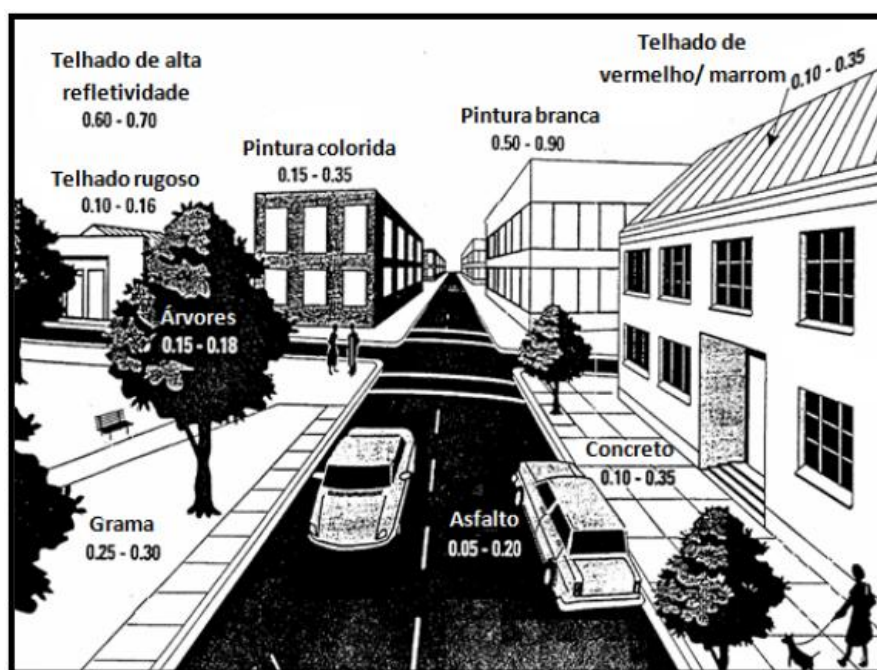
autora ainda salienta: “As maiores temperaturas em áreas urbanas podem ser diagnosticadas em locais revestidos por superfícies escura e impermeável, com incidência de concreto, cimento e pavimentação asfáltica, materiais bons condutores térmicos e com grande capacidade calorífica” (BARBIRATO et al. 2007, p.46-47).

As propriedades físicas dos materiais como a densidade, textura e principalmente a cor, também contribuem para a variação da temperatura de superfície e interferem diretamente sobre o albedo, que é o calor absorvido por um material e em seguida refletido de volta ao ambiente.

De acordo com Lombardo (1985), materiais empregados na construção civil, com diferentes padrões de albedo, são observados na morfologia urbana. Esses materiais são expressões das diversas formas de uso e ocupação do solo, possibilitando a existência de diferentes características de reflectividade da radiação solar.

Observando a figura 15, é possível perceber que quanto maior for o albedo, menor será o calor acumulado.

Figura 15. Valores de Albedo da Superfície para materiais urbanos



Fonte: Santos et. al., 2011; Huang, 1990

Deste modo, ao atingir a superfície e encontrar diferentes materiais, a parcela refletida da radiação solar (albedo) dependerá das propriedades físicoquímicas da superfície que está recebendo, portanto, uma superfície clara como a pintura branca de um telhado,

possui albedo entre 50 e 90%, consoante a isto, irá refletir uma parcela maior da radiação quando comparada com uma superfície escura como o asfalto, que absorve entre 95 e 80% da energia solar e reflete apenas entre 5,0 e 20%.

Todavia, é um equívoco considerar os valores de albedo, registrados na figura 15, como sendo absolutos, definitivos, sendo aplicáveis em qualquer lugar e sob quaisquer condições atmosféricas. Na tabela 1 são apresentados alguns intervalos de albedo da superfície. Esses intervalos são uma referência fundamentada na literatura da climatologia urbana. Então ao afirmar que o concreto seco possui albedo entre 17 e 27%, não quer dizer que esse intervalo é definitivo, podendo este mesmo albedo admitir valores menores ou maiores. Isso irá depender de alguns fatores que influenciam nos valores.

Existem inúmeros fatores que podem influenciar nos índices de albedo: a cor, textura, densidade dos materiais; condições atmosféricas num dado momento; fatores do clima e por fim, as atividades antrópicas. A tabela 1 ilustra bem essa temática ao comparar dois tipos de superfície o solo negro e seco (albedo 14%) e o solo negro e úmido (albedo 8%). Ambos os tipos de superfície possuem um cor escura, mas a presença de água absorve e conserva a energia térmica, pois a água possui um calor específico maior que a terra seca e por isso funciona como reguladora térmica.

Tabela 1. Valores de Albedo para algumas superfícies.

Tipo de Superfície	Albedo (%)
Solo negro e seco	14
Solo negro e úmido	8
Solo nu	7 - 20
Areia	15 - 25
Gramados	15 - 30
Concreto seco	17 – 27
Madeira	5 - 20
Asfalto	5 - 10

Fonte: Modificado de Mendonça & Danni-Oliveira (2007 p.35)

Diversas propriedades térmicas descrevem o modo como os materiais respondem à aplicação de calor. Gartland (2010), afirma que, os materiais de construção possuem

propriedades que tendem a exacerbar os problemas decorrentes do aumento de temperatura das superfícies urbanas. Duas propriedades dos materiais são importantes para o armazenamento de calor: a condutividade térmica e a capacidade calorífica. A autora ainda afirma que:

Materiais com alta condutividade térmica tendem a conduzir o calor para o seu interior. Materiais com alta capacidade calorífica são capazes de armazenar mais calor em seu volume. A combinação dessas duas propriedades, chamada difusividade térmica, é um indicador importante para avaliar a facilidade para o calor penetrar o material. [...] áreas rurais tendem a ser compostas por materiais de menor difusividade térmica, ao passo que áreas urbanas apresentam maior difusividade térmica (GARTLAND, 2010 p. 30).

Tabela 2. Valores de condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica de diversos materiais.

Materiais	Condutividade Térmica (w/m k)	Capacidade Calorífica (J/m³/K x 10⁶)	Difusividade Térmica m²/s x 10⁻⁶
Madeira densa	0,19	1,52	0,13
Água a 4°C	0,57	4,18	0,14
Solo de argila seco	0,25	1,42	0,18
Madeira leve	0,09	0,45	0,20
Solo arenoso seco	0,30	1,28	0,23
Concreto aerado	0,08	0,28	0,29
Asfalto	0,75	1,94	0,39
Solo de argila úmido	1,58	3,10	0,51
Tijolo	0,83	1,37	0,61
Concreto denso	1,51	2,11	0,72
Solo úmido arenoso	2,20	2,96	0,74
Rocha	2,19	2,25	0,97

Fonte: Modificado de Gartland (2010 p.31)

A tabela 2 apresenta os valores de condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica de diferentes materiais. Vale ressaltar que os valores dessas propriedades variam consideravelmente não apenas de material para material, mas também por influência dos mesmos fatores vistos anteriormente. As variáveis contidas na tabela 2 são uma média

efetuada a partir de vários estudos e encontra embasamento teórico fundamentado na literatura da climatologia urbana.

Contudo é possível depreender alguns princípios, por exemplo, “[...] *altos índices de difusividade térmica indicam que o calor chega a camadas mais profundas do material, e as temperaturas se mantêm mais constantes com o tempo. Índices baixos indicam que apenas uma camada mais fina é aquecida e as temperaturas tendem a oscilar mais rapidamente.*” (GARTLAND, 2010 p.30).

Outra grande diferença são os materiais encontrados na natureza, como madeiras e solo exposto e os materiais produzidos pelo homem como o concreto, asfalto, tijolos. Os primeiros possuem menor difusividade térmica, ao passo que o segundo apresenta maior difusividade. Logo, recomenda-se elementos de origem natural, como grama, solos, árvores, arbustos, água, em locais estrategicamente implantados como forma de mitigar os efeitos do armazenamento de calor por superfícies escuras e impermeáveis.

Normalmente, a emissividade térmica dos materiais de pavimentação não representa um tão fator importante para as temperaturas de superfícies como é para coberturas de edificações (GARTLAND, 2010). Pavimentos asfálticos geralmente têm valores de emissividade térmica de 85% ou mais, ao passo que a emissividade de concreto varia entre 70 e 90%. Os efeitos das emissões térmicas são suplantados pelos efeitos do albedo.

Em sua obra “*Materiais de Construção*” Petrucci (1998), define algumas propriedades térmicas como a Capacidade Calorífica que indica a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de determinada quantidade de material. O termo calor específico é usado quando a propriedade é determinada para uma massa unitária do material. (PETRUCCI, 1998).

Para Shackelford (2008), a condução de calor nos materiais pode ser descrita como uma Condutividade Térmica. O mecanismo de Condutividade Térmica nos metais é em grande parte, associado a seus elétrons livres, enquanto o mecanismo para cerâmicas e polímeros é, geralmente, associado a vibrações atômicas.

Bauer *et al.* (2010) afirma que as vibrações crescentes dos átomos com o aumento da temperatura leva a separações interatômicas crescentes e geralmente, um coeficiente positivo de expansão térmica. Uma inspeção cuidadosa da relação entre essa expansão e a curva de energia potencial da ligação atômica revela que uma ligação forte pode ser associada a baixa expansão térmica, além de alto módulo elástico e alto ponto de fusão (BAUER et al., 2010).

Diversos estudos já analisam a relação entre a pavimentação do solo e as condições de conforto térmico de áreas urbanas.

Asaeda *et. al.* (1996) estudaram o fluxo de calor próximo à superfície do solo e demonstraram a importância da pavimentação na alteração da temperatura do ar para diferentes tipos de pavimentos como, asfalto, concreto e solo descoberto. Através de um modelo no qual a atmosfera foi dividida em camadas, foi observada uma maior absorção da radiação na camada próxima ao solo.

A análise demonstrou que os pavimentos asfálticos absorvem substancialmente maiores quantidades de radiação solar durante o dia, conservando assim a temperatura da superfície alta durante toda a noite, contribuindo desta forma, para o aquecimento do ar. Essa contribuição foi efetivamente maior que a proporcionada tanto pela superfície de concreto quanto a do solo descoberto.

Em estudo realizado por Huang *et. al.* (2008), foram selecionados quatro tipos de cobertura do solo para estudar o microclima urbano, sendo eles: superfície de concreto, bosques urbanos, áreas com presença de água e gramado.

Os resultados mostraram que o microclima destes quatro tipos de coberturas apresentaram diferenças de temperatura entre 0,5°C e 3,5°C, sendo que, durante o dia, a temperatura do ar mensurada sobre o concreto apresentou o maior valor em relação ao gramado, áreas com presença de água e bosques urbanos, respectivamente. Durante a noite, a temperatura do ar do gramado se torna mais baixa. Comparada com a cobertura de concreto, os outros três tipos de cobertura do solo, apresentaram uma redução da temperatura do ar entre 0,2 a 2,9 °C.

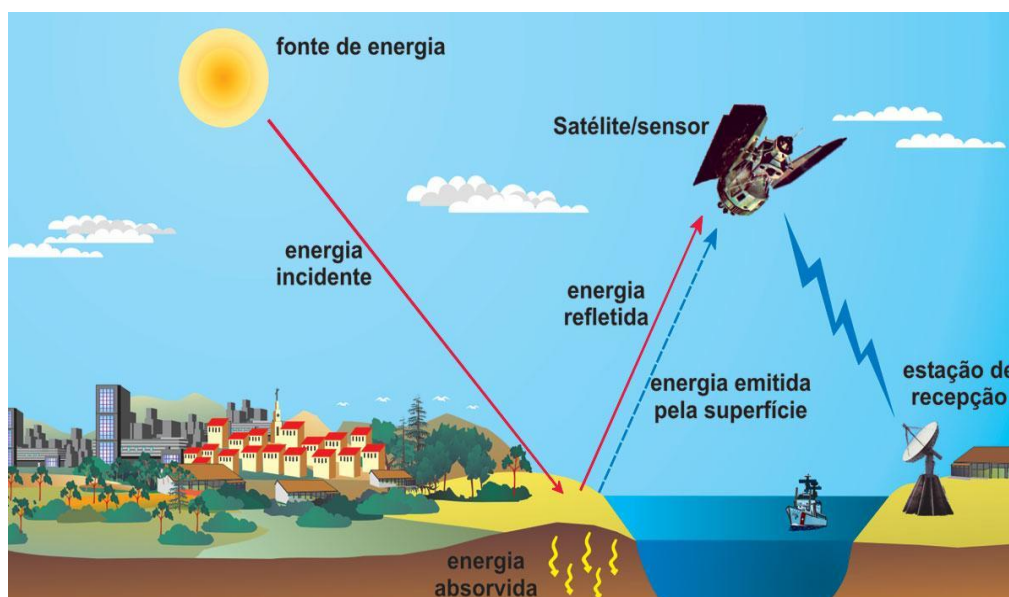
2. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E SENSORIAMENTO REMOTO

2.1. Sensoriamento Remoto Orbital: Conceitos Básicos

Rosa (2009, p.13) definiu sensoriamento remoto como [...] “a forma de obter informações, de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo, utilizando como fonte de informação a radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como o Radar.” O autor afirma que os objetos ou alvos de interesse podem ser elementos da paisagem como a vegetação, solos, revestimento de superfícies, formações rochosas, corpos d’água, entre outros.

Para Meneses & Netto (2001), a quantidade e qualidade da radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos objetos terrestres, resulta das interações entre a radiação e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas de tais objetos e podem ser identificadas nos dados de sensores remotos (MENESES & NETTO, 2001). Portanto, a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos objetos da superfície é à base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

Figura 16. Imagem demonstrando a interação da radiação eletromagnética com a superfície terrestre e o sensor remoto.



Fonte: Florenzano (2011)

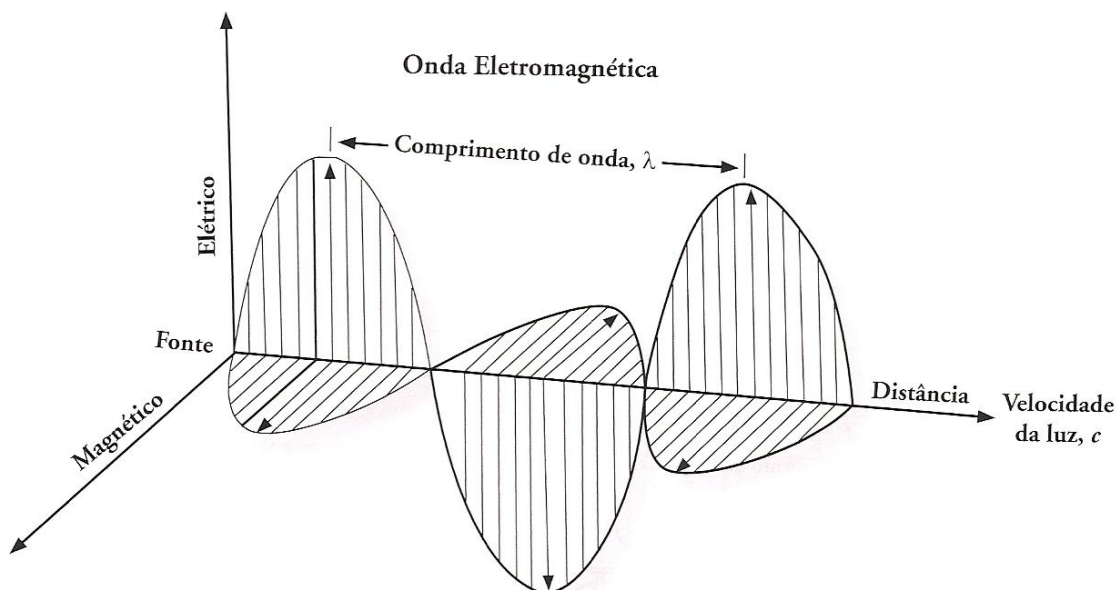
Na figura 16, é possível observar que a radiação eletromagnética proveniente do sol, atinge a superfície terrestre. Em seguida ela é refletida pela superfície sendo captada e registrada pelo sensor. A energia emitida pela superfície também pode ser registrada e captada, dependendo do tipo de sensor operante.

Florenzano (2011), afirma que a obtenção de dados por sensoriamento remoto necessita do uso de energia. A luz do sol e o calor emitido pela superfície da terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto. Os sensores também podem ser operados usando uma fonte artificial de energia como o sinal produzido por um radar.

Segundo Meneses & Netto (2001), a energia usada em sensoriamento remoto é a eletromagnética, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz ($c = 300.000$ km por segundo, onde " c " é a velocidade da luz).

Uma onda eletromagnética é caracterizada pelo seu comprimento de onda (λ) ou pela sua frequência (ν) (ROSA, 2009). O comprimento de onda (λ) é definido pela distância média entre dois pontos semelhantes da onda, como, por exemplo, dois mínimos ou dois máximos (JENSEN, 2009). A frequência (ν) é o número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado tempo (FLORENZANO, 2011). Deste modo, a frequência e o comprimento de ondas relacionam-se pela equação $\lambda = c/\nu$, onde c é a velocidade de propagação da luz (FLORENZANO, 2011; JENSEN, 2009; ROSA, 2009).

Figura 17. Propagação da Radiação Eletromagnética no espaço.

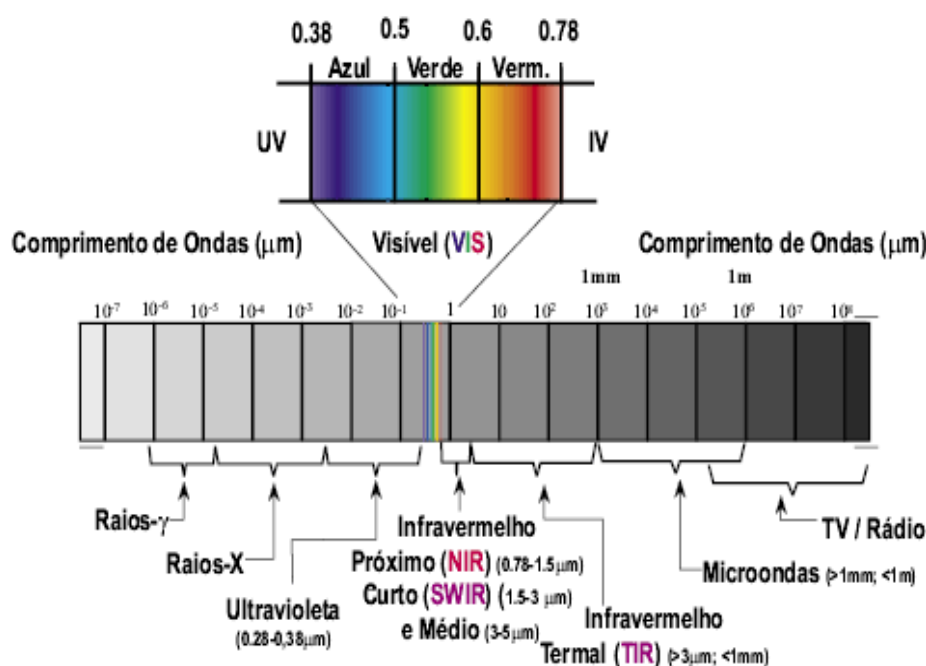


Fonte: Jensen (2009)

Blaschke & Kux (2007) afirmam que a energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região.

Cada subdivisão é uma função do tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética. (MENESES & NETTO, 2001). O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda, como mostra a Figura 18.

Figura 18. Espectro da Radiação Eletromagnética



Fonte: Florenzano (2011)

A medida que se avança para a direita do espectro eletromagnético as ondas apresentam maiores comprimentos e menores frequências. A faixa espectral mais utilizada em sensoriamento remoto estende-se de 0,3 μm a 15 μm , embora a faixa de microondas também seja utilizada. Através da tabela 3 é possível observar as faixas espectrais mais utilizadas em sensoriamento remoto e seus respectivos comprimentos de onda.

Tabela 3. Faixas espectrais mais utilizadas em sensoriamento remoto.

Nome	Sigla	Comprimento de onda
Visível	VIS	0,4 a 0,7 μm
Infravermelho Próximo	IVP	0,7 a 1,3 μm
Infravermelho Médio	IVM	1,3 a 3,0 μm
Infravermelho Termal	IVT	3 a 5 μm e 8 a 14 μm
Radar	-	0,3 a 100 cm

Fonte: Modificado de Jensen (2009)

A origem do Sensoriamento Remoto está vinculada ao desenvolvimento da fotografia convencional e à pesquisa espacial, tendo surgido com a evolução das técnicas que permitem detectar e registrar outras formas de radiação eletromagnética, além da luz visível.

De acordo com Jensen (2009), a história do sensoriamento remoto está relacionada ao uso militar. A primeira fotografia aérea, da qual se tem conhecimento, data de 1856 e foi tirada de um balão. Em 1862, balonistas do exército americano fazia o reconhecimento das tropas confederadas com fotografias aéreas, no âmbito da guerra civil americana. Em 1909 surgem às primeiras fotografias tiradas de aviões, e na Primeira Guerra Mundial seu uso foi intensificado (JENSEN, 2009).

Rosa (2009) afirma que, durante a Segunda Guerra Mundial, houve um grande desenvolvimento do sensoriamento remoto. Nesse período foi desenvolvido o filme infravermelho com o objetivo de detectar a camuflagem de tropas inimigas. Além disso, foram introduzidos novos sensores, como o radar, além de ocorrerem avanços nos sistemas de comunicação (ROSA, 2009).

A partir da década de 1970, devido ao desenvolvimento do programa espacial norte-americano, grandes avanços oriundos da tecnologia espacial permitiram maior desenvolvimento nos sistemas sensores, a bordo de plataformas orbitais, ou satélites, cuja função consiste em estudar os recursos terrestres.

Florenzano (2011) afirma que a principal função dos sistemas sensores consiste em captar e medir a quantidade de energia refletida e/ou emitida por objetos, áreas ou fenômenos, em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Dependendo do tipo, o sensor capta dados de uma ou mais regiões do espectro, denominado sensor multiespectral.

O intervalo no espectro eletromagnético, no qual são realizadas as medidas do fluxo de energia, que atinge um determinado sensor, é definido por resolução espectral. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda, melhor será a resolução espectral da coleta (MENESES & NETTO, 2001). Por exemplo, o satélite americano Landsat-5 possui os sensores Thematic Mapper (TM), e Multispectral Scanning System (MSS). O sensor TM apresenta algumas bandas espectrais mais estreitas do que o sensor MSS, portanto nestas bandas o TM apresenta melhor resolução espectral do que o MSS.

Rosa (2009) define resolução espacial, como a capacidade do sensor remoto distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor (ROSA, 2009). O sistema sensor Thematic Mapper (TM) do Landsat-5 possui uma resolução espacial de 30 metros.

A resolução radiométrica define a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos que compõe a cena (rochas, solos, vegetações, águas, etc) (MENESES & NETTO, 2001). O sistema sensor TM do Landsat-5 distingue até 256 tons distintos de sinais representando-os em 256 níveis de cinza. Por fim, a resolução temporal do sensor indica o intervalo de tempo que um satélite leva para voltar a recobrir uma área de interesse (FLORENZANO, 2011). Os sensores do Landsat-5 possuem uma repetitividade de 16 dias.

Atualmente, a utilização da tecnologia dos sistemas sensores tornou acessível, para diferentes escalas espaciais, espectrais e temporais, imagens digitais a nível global ou local. Uma imagem digital pode ser descrita como uma matriz composta por x linhas e y colunas, com cada elemento possuindo um atributo z que representa a intensidade da radiação refletida ou emitida por uma cena nesse ponto e registrada pelo sensor (MENESES & NETTO, 2001). Essa intensidade é representada por um valor inteiro, não negativo e finito, chamado nível de cinza, também conhecido por DN (do inglês "digital number") (ROSA, 2009). Cada elemento da matriz que compõe a imagem é denominado pixel.

Nas últimas décadas, as técnicas de Sensoriamento Remoto têm possibilitado a realização de estudos com o objetivo de estimar a temperatura da superfície, índices de vegetação e albedo de superfície.

O algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) desenvolvido por BASTIAANSEN *et. al.*, (2000) permite estimar a temperatura de superfície, utilizando um número reduzido de dados e imagens de satélites.

A física envolvida no algoritmo do modelo SEBAL permite o cálculo dos fluxos em superfície para uma ampla variedade de uso do solo e calcula o balanço completo de radiação e de energia para cada pixel da imagem sem a necessidade de aplicar as extensivas medidas de campo (ARAÚJO, 2006, p.11).

Bezerra (2006), citado por Oliveira (2012 p.32), afirma que os principais produtos gerados pela utilização do SEBAL [...] *“é o consumo de água, ou a evapotranspiração real, e a produção de biomassa de culturas agrícolas e vegetação nativa, pixel a pixel.”* De acordo com Oliveira (2012), a gestão de recursos hídricos de bacias hidrográficas, na avaliação e administração de lâminas de irrigação e na modelagem hidrológica, estão entre as principais aplicações do Algoritmo SEBAL.

Araújo (2006, p.11) afirma que *“[...] mesmo existindo inúmeras vantagens para se trabalhar com o modelo SEBAL na estimativa dos componentes do balanço de energia por sensoriamento remoto, existem também algumas desvantagens [...]”*. A referida autora demonstra em seus estudos:

A necessidade de dados de sensoriamento remoto por satélite em condições de céu claro e sem nuvens; necessidade da presença de áreas secas e úmidas nas imagens de satélite utilizadas; a rugosidade da superfície é pobremente descrita no modelo; sua utilização é apropriada para superfícies planas, mas atualmente, já está sendo utilizado em regiões montanhosas (ARAÚJO, 2006 p.11).

2.2. Sensoriamento Remoto do Espaço Urbano

De acordo com Jensen (2009), diversos materiais como o concreto, asfalto, metal, madeira, plástico, água, grama, entre outros, estão dispostos de maneira complexa na paisagem urbana. Não há dúvidas de que estes materiais tem por finalidade a melhoria nas condições de infraestrutura das cidades, pois servem a sociedade na construção de habitações,

sistemas de transportes, estabelecimentos comerciais e de serviços, repercutindo na qualidade de vida dos cidadãos (JENSEN, 2009).

Entretanto, o rápido e desordenado processo de urbanização, sobretudo das cidades brasileiras, formou aglomerações urbanas sem planejamento adequado, com ausência de parâmetros de uso e ocupação do solo urbano (BARBIRATO *et al.* 2007). Assim, o processo de urbanização contribui para a formação de um clima próprio, ou seja, um clima urbano, que é resultante dos fatores antrópicos, com o clima regional e o meio físico local. Seus efeitos mais direto são sentidos pela população através do aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar, além de outras manifestações, deteriorando o conforto térmico dos habitantes (MENDONÇA & DANNI-OLIVERIA, 2007).

O sensoriamento remoto orbital constitui uma alternativa para se investigar o clima urbano de uma dada região, particularmente no que tange a temperatura de superfície nos ambientes urbanos. Uma das vantagens do emprego dessa técnica é a possibilidade de visualizar as temperaturas de forma espacializada.

Na década de 1970, teve início as primeiras aplicações de dados de sensoriamento remoto orbital para uso civil, através do lançamento nos Estados Unidos, do programa espacial ERTS (Earth Resources Technology Satellites), ou seja, tecnologia de satélites para recursos terrestres, de responsabilidade da NASA (National Aeronautics and Space Administration), Agência Espacial Norte-Americana (ROSA, 2009).

Posteriormente o programa espacial foi renomeado para LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite), ou seja, satélite para sensoriamento remoto terrestre. De acordo com Rosa (2009, p.97), *“o sistema Landsat foi desenvolvido pela NASA com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva.”*

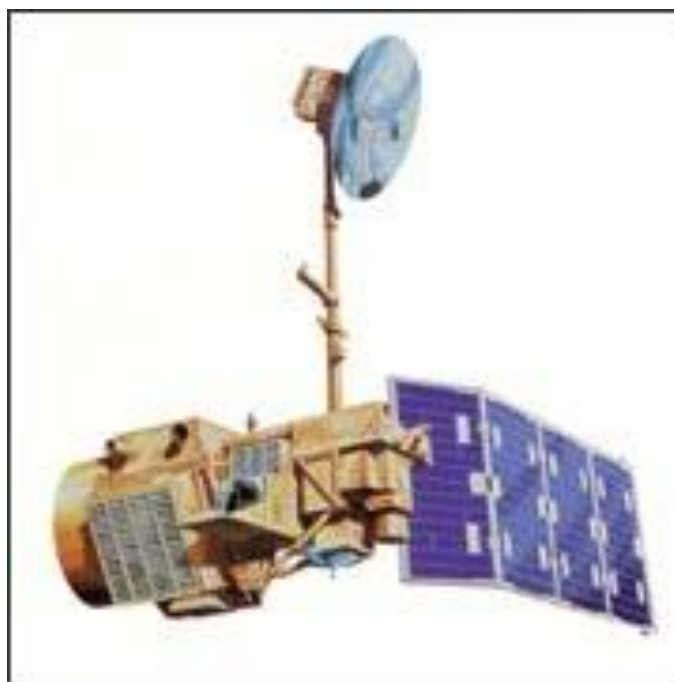
A primeira fase do programa LANDSAT foi composta pelo lançamento dos satélites Landsat 1, 2 e 3, que possuíam apenas dois sensores remotos: a câmera RBV (Return Beam Vidicon) e o MSS (Multispectral Scanner), ambos com resolução espacial de 80 metros, considerada uma resolução espacial muito baixa, gerando imagens digitais não compatíveis com a escala de análise intraurbana (ARAÚJO, 2006).

Deste modo, a realização de análises na escala intraurbana, dependia de grandes investimentos, devido aos altos custos envolvidos nos procedimentos para geração de imagens por cobertura aerofotogramétricas e coleta de dados em trabalhos de campo (BLASCHKE & KUX, 2007). Para Jensen (2009), a maior parte dos analistas de imagens digitais concorda

com o fato de que, a resolução espacial é a mais importante, quando se quer obter informações em áreas urbanas, utilizando dados de sensores remotos. Quanto mais elevada a resolução espacial das imagens digitais mais detalhada é a informação que se pode extrair do ambiente urbano.

A segunda fase do programa LANDSAT teve início em 1982 com o lançamento do satélite Landsat 4, responsável por introduzir o sensor Thematic Mapper (TM), ou seja, mapeador temático, além do já existente MSS (JENSEN, 2009). Em março de 1984 o Landsat 4 foi substituído pelo satélite Landsat 5. Em dezembro de 2012, foi anunciado que o Landsat 5 seria desativado. Em junho de 2013 a NASA transmitiu o último comando ao satélite Landsat 5, terminando a missão aos 29 anos, 3 meses e 4 dias após o seu lançamento. O satélite Landsat 5 foi a mais antiga plataforma orbital de observação remota da terra.

Figura 19. Ilustração feita em computação gráfica do satélite Landsat 5



Fonte: Landsat (2015)⁸

Araújo (2006) afirma que o sensor TM é um avançado instrumento imageador multiespectral de varredura de segunda geração destinado ao levantamento de recursos terrestres. O Landsat 5 possui uma órbita quase polar, permitindo uma cobertura completa da

⁸ Fonte: <http://www.landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3217>, visitado em Fev.2015

terra entre 81° N e 81° S, e heliossíncrona, passando na mesma hora solar em qualquer ponto observado. Sua órbita é repetitiva e elíptica numa altitude média de 705,3 Km, uma inclinação de 98,3° e velocidade equivalente a 7,7 Km/s no solo (ARAÚJO, 2006).

A mesma autora ainda afirma, que o Landsat 5 possui sete bandas espectrais. Sua resolução espacial nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (correspondem à região do espectro eletromagnético entre o visível e o infravermelho médio) é de 30m, enquanto na banda 6 (corresponde a região do infravermelho termal) sua resolução é de 120m (ARAÚJO, 2006).

Por fim, o Landsat 7 entrou em órbita em abril de 1999 e encerrou suas atividades em 2003. Mesmo assim, trouxe benefícios adicionais, como a substituição do Thematic Mapper (TM) pelo sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), com oito bandas espectrais.

Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos LANDSAT, porque manteve a alta resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução (JENSEN, 2009).

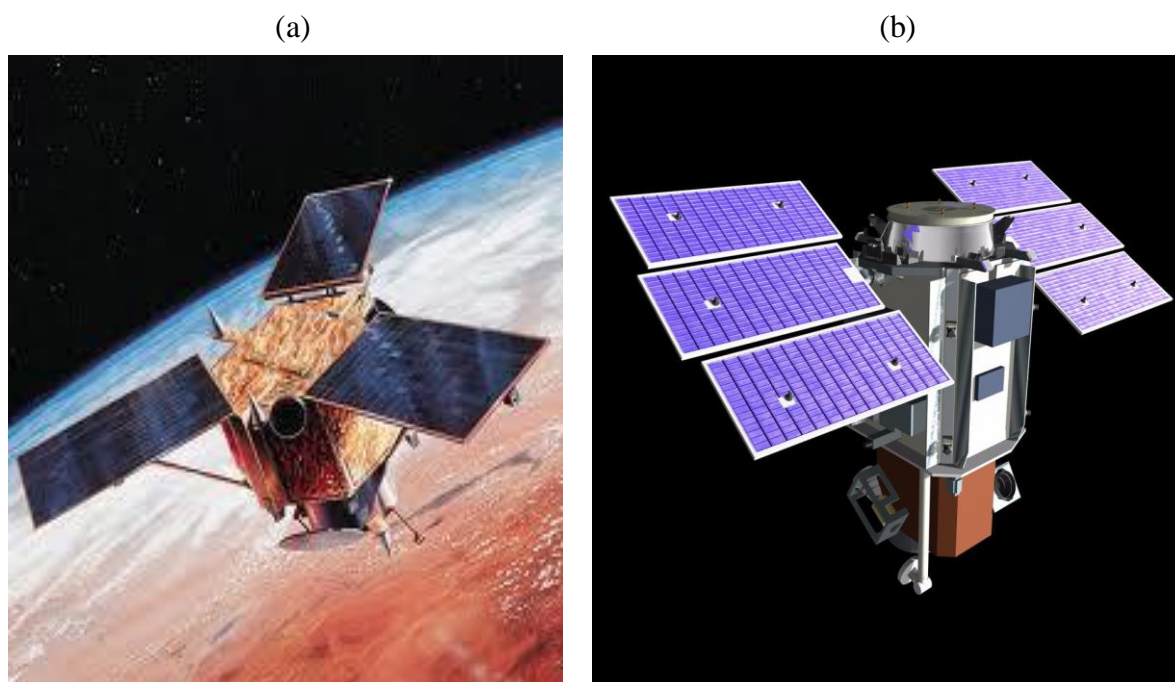
No fim da década de 1990, foram desenvolvidos sistemas sensores com alta resolução espacial como o IKONOS II, desenvolvido pela companhia Space Imaging, e o QUICK BIRD representante da empresa Digital Globe (BLASCHKE & KUX, 2007). Estes sistemas sensores representaram um considerável avanço tecnológico no advento das imagens de alta resolução espacial, exigindo em consequência novos paradigmas na área de aplicações em sensoriamento remoto (FITZ, 2008). As imagens de alta resolução espacial do QUICK BIRD e do IKONOS II necessitam de novas metodologias de processamento. Rosa (2009) afirma:

A Space Imaging desenvolveu o Programa IKONOS com o objetivo de fornecer informações com qualidade e rapidez largamente superiores aos padrões atuais de mercado (...) através da precisão e velocidade de atualização dos seus produtos, este programa permitiu aos agricultores o monitoramento do estado das suas culturas e estimar as colheitas, auxiliar cientistas a analisar áreas ambientalmente sensíveis e prever tendências, permitir o monitoramento e planejamento dos usos do solo por parte de entidades governamentais e servir como instrumento das companhias de seguros na medição de danos após desastres naturais (ROSA, 2009 p.119).

Com o surgimento das imagens digitais de alta resolução e programas computacionais de processamento de imagens, o sensoriamento remoto orbital passou a contribuir de maneira mais efetiva com o fornecimento de dados para a atualização das bases

e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), possibilitando o monitoramento de grandes áreas com maior rapidez e a intervalos de tempo reduzido.

Figura 20. Ilustração elaborada por computação gráfica simulando o satélite IKONOS II (a) e o satélite QUICK BIRD (b) em órbita terrestre.



Fonte: Space Imaging (2015)⁹; Digital Globe (2015)¹⁰

A interpretação e classificação de imagens de satélite nos permite delimitar objetos que seguem um determinado padrão de distribuição, permitindo compreender como desenvolveu a ocupação urbana em determinadas áreas da cidade. Além disso, permite a determinação de áreas impermeáveis de maneira mais rápida e econômica, constituindo-se numa ferramenta essencial para estudos que tem por objetivo o planejamento e gestão de áreas urbanas. Entretanto, no que concerne a áreas impermeáveis, a precisão dessa técnica ainda é objeto de pesquisa científica, tendo sido verificados tanto resultados satisfatórios como resultados insatisfatórios (ESTEVES, 2006).

Dados atualizados são importantes para o conhecimento da situação atual. Mediante esse conhecimento é possível desenvolver projetos e programas de melhorias. Sabemos que é

⁹ <http://www.euspaceimaging.com>, acesso em Mar.2015

¹⁰ <http://www.globalgeo.com.br/satellite/quickbird/>, acesso em Mar. 2015

essencial conhecer bem a realidade da cidade, enquanto objeto de análise para o planejamento urbano (FITZ, 2008).

Dessa maneira, os dados devem possibilitar tanto um panorama geral, quanto o detalhamento do mundo real, através da abstração dos fenômenos geográficos para a sua devida representação. Contudo, somente as imagens não nos fornecem a informação de maneira clara e objetiva para a maioria dos planejadores. Por isso é essencial transformar essas imagens em dados concisos através da sua interpretação e classificação (BLASCHKE & KUX, 2007).

2.3. Temperatura da Superfície no município do Recife - PE

A região do espectro eletromagnético conhecido por infravermelho termal fundamenta-se no princípio de que, todo objeto ou superfície que possua temperatura acima do zero absoluto (0° K) emite energia na forma de radiação de ondas longas (JENSEN, 2009). De acordo com Rosa (2009):

A faixa de comprimentos de onda entre 4 e 300 μm é conhecida como infravermelho distante ou espectro emissivo. Porém dentro desta faixa existe outra subdivisão chamada infravermelho termal (8 a 14 μm), a qual é muito importante para estudos das características dos alvos da superfície terrestre relacionadas à sua temperatura [...] a variação da temperatura dos alvos na superfície terrestre é dependente da radiação eletromagnética incidente e da inércia termal dos diferentes materiais [...] (ROSA, 2009 p.53)

Alguns sensores possuem a capacidade de detectar a radiação de ondas longas emitida na faixa do infravermelho termal, medindo a radiação emitida pelos objetos, cujos valores variam em função de sua temperatura. Deste modo, a utilização da banda do termal do sensor TM, permite realizar estimativas da temperatura de superfície, através da utilização de diversas metodologias proposta por diversos autores (TSAY & LIU, 2000; ALLEN *et al.*, 2002; CHEN *et al.*, 2002 - 2006).

Lombardo (1985), afirma que devido a enormes dificuldades para a obtenção dos dados de Temperatura da Superfície, para áreas extensas e inóspitas, passou a ser fundamental, as técnicas de sensoriamento remoto na realização de levantamentos à distância de variáveis biofísicas da superfície, uma vez que os equipamentos mais utilizados para a realização de medições em campo fornecem apenas leituras pontuais. Conforme verificado nos estudos de Gartland:

A magnitude e a importância das temperaturas de superfícies urbanas não eram totalmente compreendidas até serem visualizadas do alto, no século XX. Satélites e aeronaves especialmente equipadas podem mapear as temperaturas da superfície terrestre e já mostraram pontos de calor bastante distinguíveis em áreas urbanas bem como em seus arredores por todo mundo (GARTLAND, 2010 p.17).

Para Jensen (2010), dentre os elementos climáticos, a temperatura da superfície é considerada um parâmetro físico relevante nos processos que envolvem a interação da radiação eletromagnética com os materiais de revestimento de superfície, justamente porque pode contabilizar a quantidade de energia, sob a forma de calor, armazenado nos materiais.

Sua estimativa é um fator importante no monitoramento das condições da vegetação, nas aplicações de modelos de previsões climáticas globais e regionais e na variabilidade de mudanças bioclimáticas. Ela possui uma variação espacial e temporal influenciada principalmente pela quantidade de insolação recebida, pela natureza da superfície, distancia a partir dos corpos hídricos e pelas variações sazonais no volume de radiação recebida (JENSEN, 2009 p.262).

Mendonça (1994) utilizou para o estudo das características da variação térmica espacial na cidade de Londrina – PR, imagens digitais produzidas pelos satélites NOAA/AVHRR e Landsat 7. Para um melhor detalhamento, foi utilizada as imagens da banda 6 (banda termal) do Landsat 7, considerando que esta banda possui resolução espacial de 60 metros. Deste modo, a imagem termal foi comparada com os dados das mini-estações meteorológicas, posicionados a 1,5 metros da superfície (MENDONÇA, 1994).

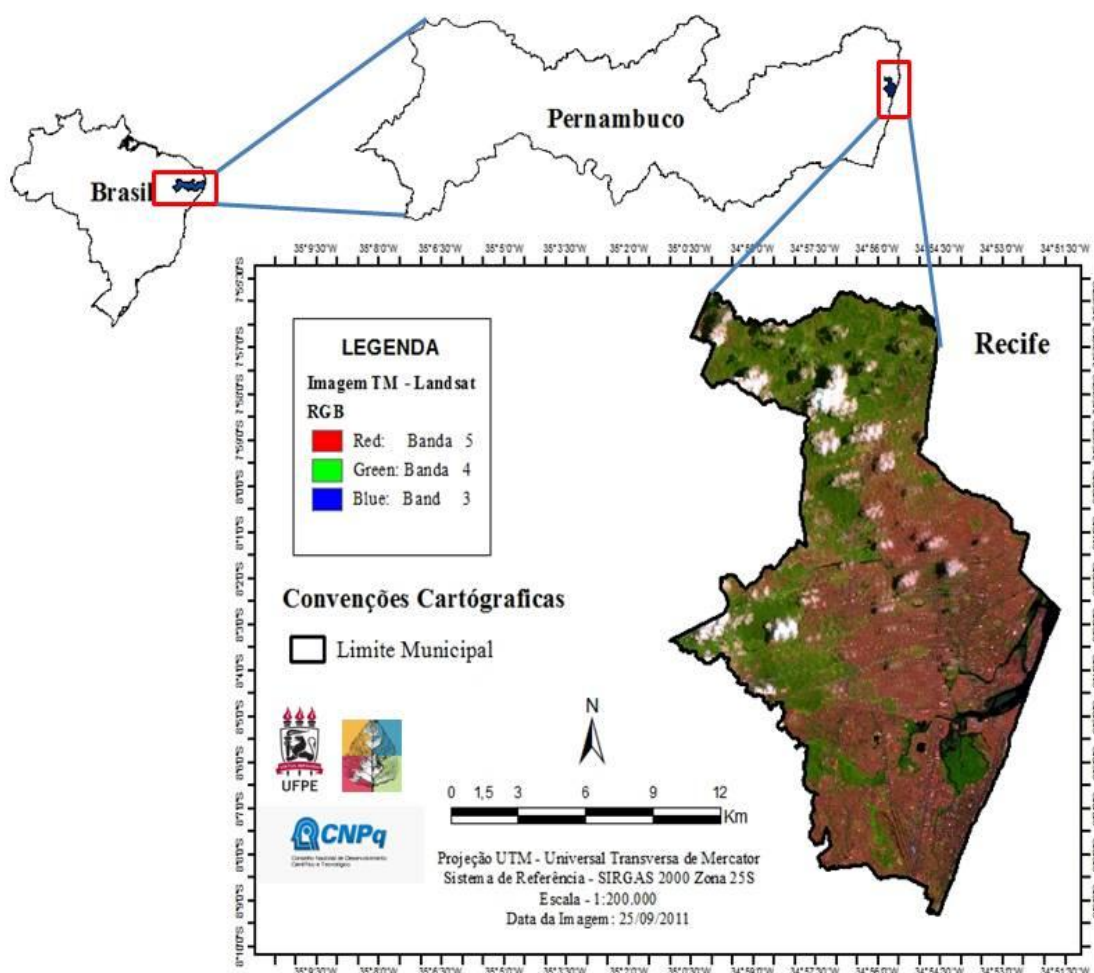
Utilizando imagens do satélite NOAA/AVHRR, Lombardo (1985) estudou a variação espaço-temporal das temperaturas de superfície da área urbana de São Paulo. Devido à resolução espacial de 1 km a pesquisa não permitiu um maior detalhamento das propriedades térmicas dos materiais que compõem o ambiente intraurbano. Mesmo diante dessas dificuldades tecnológicas o estudo foi considerado um marco para o referido ano, sendo um incentivo para estudos vindouros.

O que se pretende com o presente estudo é avaliar o desempenho térmico dos materiais de revestimento do solo urbano, utilizando a temperatura de superfície como parâmetro físico fundamental, visando determinar a contribuição dos principais materiais no armazenamento de calor da superfície, e consoante a isto, a influência deles no aumento da temperatura do ar, na redução da umidade, na formação de ilhas de calor, enfim, no conforto térmico dos usuários dos espaços urbanos.

Para isto, foi delimitado um recorte espacial, dentro do território municipal do Recife, capital do Estado de Pernambuco, visto que, a natureza do objeto empírico não permite avaliar o comportamento térmico dos materiais em toda área urbana, pois a cidade do Recife é composta por diferentes paisagens, áreas com características relacionadas a diversos aspectos físicos, morfológicos e antrópicos.

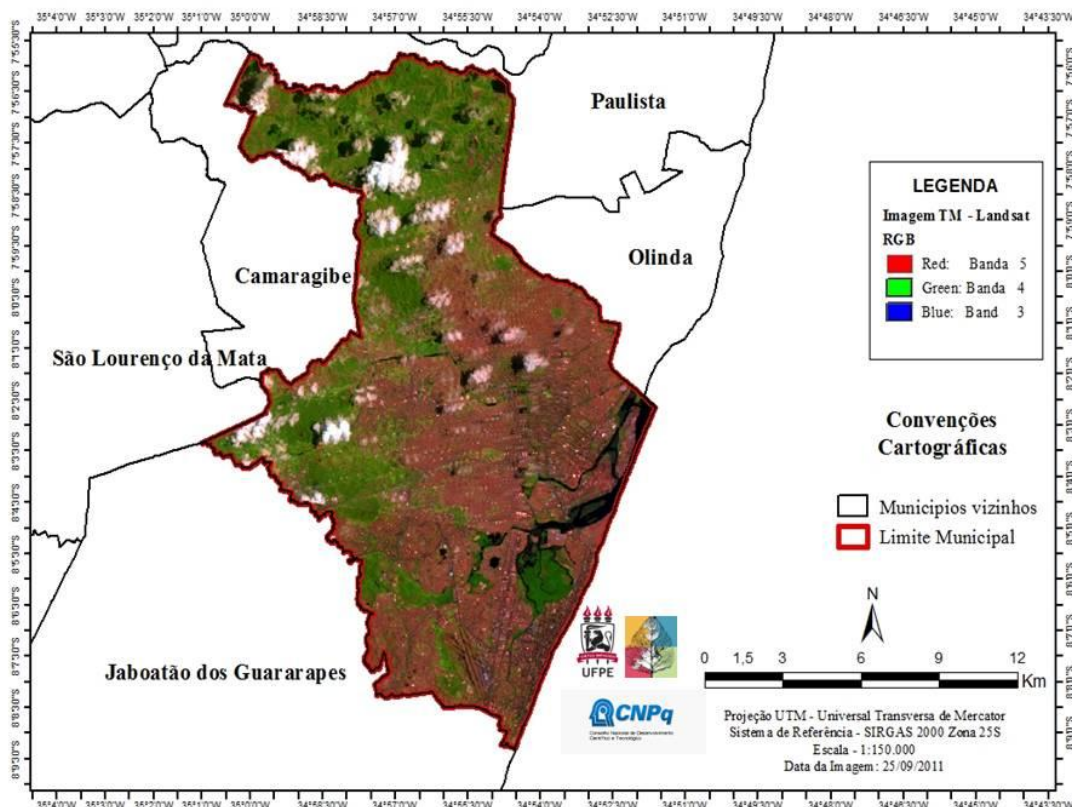
De acordo com Monteiro (1976), é fundamental para o estudo do clima urbano, a identificação mais detalhada possível das feições topográficas do sítio, dos sistemas atmosféricos que influenciam a dinâmica do clima da cidade, do processo de uso e ocupação do solo, atividades humanas. Esses fatores, naturais e antrópicos, são essenciais na compreensão das diferentes paisagens urbanas e na formação e dinâmica do clima das cidades.

Figura 21. Localização do município de Recife – PE.



Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Figura 22. Localização do município do Recife e municípios vizinhos.



Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Doravante, nesta pesquisa procurou-se caracterizar o município do Recife, sob a lente dos aspectos físicos, socioambientais e morfológicos, utilizando como instrumento de observação e análise a tecnologia do sensoriamento remoto orbital. Deste modo, foram elaborados mapas temáticos do Índice de Área Foliar (IAF), Albedo da superfície, assim como, da carta de temperatura da superfície.

O município do Recife, capital do Estado de Pernambuco, está localizado no litoral do nordeste brasileiro, em sua porção centro leste, a 8° 04' 03" de latitude Sul e 34° 55' 00" de longitude Oeste, conforme demonstra a figura 21. O município apresenta uma superfície territorial de 218,50 km² limitando-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste com o Oceano Atlântico, figura 22.

Com relação às condições climáticas, Recife encontra-se situado dentro dos limites da zona intertropical. Correa (2006, p.91-92) afirma que o município do Recife “[...] encontra-se localizado na faixa de maior insolação da Terra, recebendo os raios solares quase perpendiculares à superfície e, pela baixa latitude, com horas de insolação

praticamente constantes entre os meses de verão (de maior insolação) e inverno (de menor insolação) [...]”.

Dessa maneira, Recife possui uma média mensal de temperatura do ar em torno de 25,0°C, sendo Janeiro e Fevereiro os meses mais quentes, com temperaturas superiores a 26,0°C, enquanto os meses de julho e agosto registram temperaturas iguais ou inferiores a 24°C. A amplitude térmica anual entre janeiro e julho é de apenas 3,0°C e a amplitude térmica diária dependendo da sazonalidade, pode chegar a ser superior a 6,0°C (CORRÊA, 2006).

A classificação climática de Koppen caracteriza o clima do Recife como tropical quente e úmido As^o, com chuvas de outono a inverno, com precipitação total anual acima de 1.200 mm. Isto comprova a elevada umidade relativa do ar, com valores médios anuais superiores a 84% (CORRÊA, 2006).

O território municipal do Recife recebe influência da Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS), e também das perturbações que esta massa de ar sofre ao longo dos anos, que na maioria dos casos, associa-se a gênese de chuvas no município (CORREA, 2006). Também exercem influências sobre o Recife, a Massa Tropical Atlântica (MTA) e a Massa Polar Atlântica (MPA), esta última chega em processo de dissipação, não caracterizando um sistema frontal nítido (CORREA, 2006).

Segundo o Atlas Ambiental da Cidade do Recife (2000), o território municipal possui dois domínios geomorfológicos. O primeiro é o Modelado Cristalino que ocorre em pequenos eixos restritos ao extremo oeste. Este tem dois subdomínios: o colinoso e os tabuleiros costeiros. O segundo é a Planície Costeira ou Flúvio Lacunar que predomina em quase todo território municipal (Atlas Ambiental da Cidade do Recife, 2000).

No que concerne à hidrologia, o território do Recife abrange três bacias hidrográficas: Capibaribe, Beberibe e Tejipió. A mancha urbana é cortada pelos Rios Capibaribe e Beberibe além de outros de menor porte como o Jiquiá, Jordão e Tejipió, além ser banhada, a leste pelo Oceano Atlântico Sul (Atlas Ambiental da Cidade do Recife, 2000).

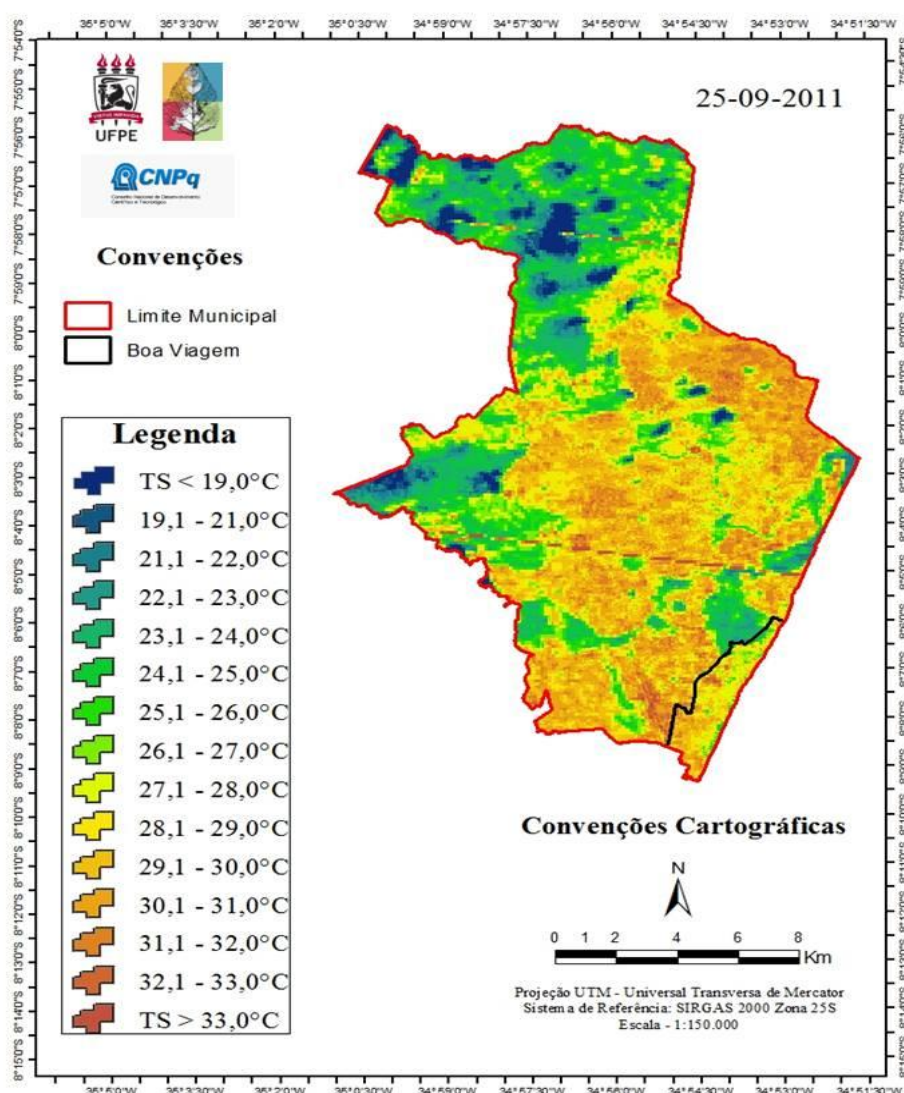
A vegetação predominante na área é constituída principalmente de restingas e manguezais. Além desses ecossistemas há presença de gramíneas e árvores de médio e pequeno porte, entre elas algumas árvores frutíferas, como a pitombeira, a pitangueira e o cajueiro (FREITAS, 2008).

Segundo dados do Recenseamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Censo 2010 – a cidade do Recife possui uma população de 1.537.704 habitantes,

correspondendo a 17,48% da população do Estado, e a 41.63% da Região Metropolitana do Recife (RMR), o que lhe propicia uma densidade demográfica de 6.989 habitantes/km².

A Região Metropolitana do Recife é a mais populosa do Nordeste, e a quinta maior do Brasil com um total de 3,73 milhões em toda área metropolitana (IBGE, 2010). A metrópole tem como forte característica o comércio, o qual teve início no período da economia açucareira com o Porto do Recife. Sua função e hierarquia urbana acompanharam o ritmo das transformações socioeconômicas do Brasil, e atualmente é um dos mais importantes centros de serviços e distribuição de mercadorias da região Nordeste (Observatório, 2006).

Figura 23. Distribuição da Temperatura da Superfície (°C) no município do Recife – PE, com destaque para o bairro de Boa Viagem.



Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

A figura 23 apresenta a distribuição espacial das temperaturas da superfície para o município do Recife, no dia 25 de setembro de 2011 (por volta das 9h 30 min – horário local). Devido ao cancelamento das atividades do satélite Landsat 5, desativado em dezembro de 2012, a última imagem disponível no catálogo de imagens de satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) corresponde ao dia 25 de setembro de 2011.

Através da figura 23, é possível observar os menores índices de temperaturas da superfície, variando entre valores inferiores a 19,0°C até índices acima de 23,0°C, representados na figura 23 pela tonalidade azul. Os menores valores de temperaturas estão concentrados basicamente em duas áreas do município: a primeira ao norte, onde estão localizados os fragmentos florestais de mata atlântica dos bairros da Guabiraba, Brejo da Guabiraba, Dois Unidos e Passarinho. A segunda a oeste do território, onde também se concentra áreas com fragmentos florestais dos bairros de Dois Irmãos, Várzea e Curado.

O Parque dos Manguezais, localizado no estuário da Bacia do Pina, entre os bairros da Imbiribeira, Pina e Boa viagem, possui uma área total de 316 hectares, da qual 225,82 hectares são de cobertura vegetal característica desse ecossistema (Atlas Ambiental da Cidade do Recife, 2000). Por isso, é uma das maiores áreas de mangue em zona urbana do Brasil e um dos últimos resquícios desse ecossistema na cidade do Recife. Neste ecossistema a variação espacial da temperatura da superfície registrou valores entre 19,0°C e 26,0°C. As temperaturas mais amenas foram registradas no interior do ecossistema e nos espelhos d'água. Já as maiores foram detectadas próximas à áreas residenciais nos limites do parque.

Em ambientes urbanos, a vegetação se apresenta como importante agente de amenização da temperatura, promovendo o aumento da umidade e a melhora na qualidade do ar. Para Gartland (2010), as áreas vegetadas refrescam as áreas circunvizinhas através da evapotranspiração, promovendo a conversão da energia solar em água evaporada ao invés do calor e mantendo a temperatura da vegetação e do ar mais baixas, assim como também através da promoção de áreas sombreadas (no caso da vegetação de porte Arbóreo), disponibilizando uma superfície mais fresca.

As margens de rios como o Capibaribe, Beberibe, Jiquiá, Jordão e Tejiptó, apresentam grande amenização nos valores de temperatura da superfície em virtude da quantidade de água liberada através da evaporação e da mata ciliar existente em grande parte destes rios.

Na Figura 23, ainda é possível verificar que áreas com tonalidade vermelho escuro possuem as maiores temperaturas da superfície para o município do Recife. As temperaturas

registram valores superiores a 33,0°C. As áreas com tonalidades amarelas representam os valores intermediários entre 27,1°C e 31,0°C aproximadamente. Esses valores evidenciam a intensificação no processo de remoção da cobertura vegetal e sua substituição por espaços artificialmente construídos. Áreas impermeabilizadas com materiais de revestimento do solo têm provocado maior absorção e retenção de calor se comparado com solos cobertos por vegetação.

Estudo divulgado por Oliveira (2012), afirma que grande parte do bairro do Recife apresenta temperaturas da superfície superior a 26°C no período mais seco. No mesmo bairro, as poucas áreas vegetadas conseguiram manter as temperaturas mais amenas, apresentando temperaturas da superfície inferior a 22°C. O referido autor salienta: “[...] *a parte sul do bairro do Recife apresenta a predominância das temperaturas mais elevadas principalmente devido à localização do Porto do Recife com grande área impermeabilizada e/ou com grandes galpões [...]*” (OLIVEIRA, 2012 p.103).

Moreira (2007) analisando a distribuição espacial das temperaturas da superfície na cidade do Recife, através de imagens Landsat 7 ETM+, encontrou no ano de 2002, temperaturas superiores a 33,0°C em áreas com elevado adensamento construtivo, enquanto nas feições com coberturas verdes e corpos hídricos, os valores foram inferiores a 23,0°C.

A partir da leitura desses e de outros referenciais, utilizando dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE), e segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano do município do Recife, ficou bastante elucidativo que, o bairro de Boa Viagem apresenta alto potencial construtivo, sendo classificado como Zona de Urbanização Preferencial – ZUP, ou seja, a lei não só permite a manutenção, mas, também incentiva o aumento da alta densidade construtiva, já observada para o local.

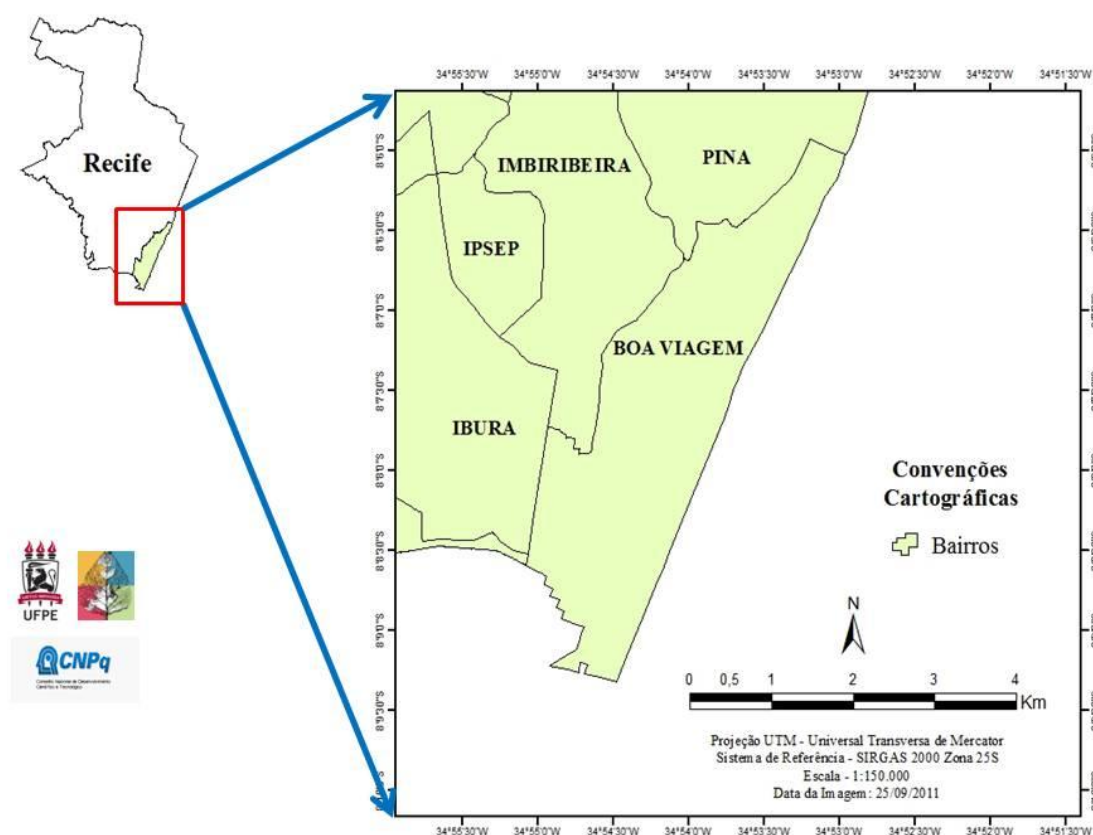
Localizado numa área litorânea na zona sul da cidade do Recife, Boa Viagem limita-se ao norte com o bairro do Pina, a oeste com os bairros da Imbiribeira e Ibura, a leste com o Oceano Atlântico e ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, conforme demonstra a figura 24.

A unidade urbana de Boa Viagem registra uma população de 122.922 habitantes, distribuídos numa área de 753 hectares, o que se traduz na alta densidade demográfica de 163,17 habitante/hectare, apresentando um total de 42.272 domicílios (IBGE, 2010). Boa Viagem registra uma das maiores aglomerações por metro quadrado da cidade, tendo em vista a grande quantidade de edifícios, em sua maioria destinada ao uso residencial e empresarial.

O bairro caracteriza-se por apresentar grande fluxo de pedestre e veículos, sobretudo nas três principais vias, as Avenidas Boa Viagem, Conselheiro Aguiar e Domingos Ferreira.

Quanto ao nível socioeconômico de sua população, o bairro apresenta índices bastante diversificados. Registra uma média de moradores por domicílio de 2,9 habitante/domicílio e valor do rendimento médio mensal dos domicílios de R\$ 7.108,00 (IBGE, 2010).

Figura 24. Localização de Boa Viagem e bairros vizinhos, Recife – PE.



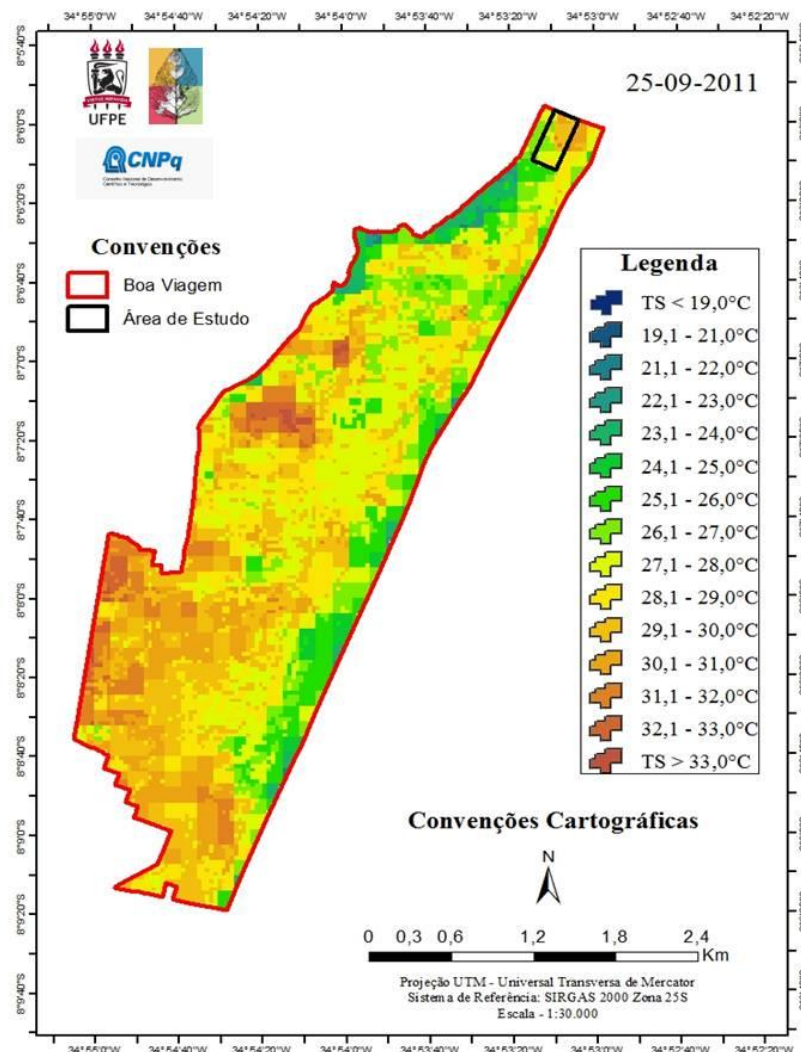
Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Todavia, devido à existência de assentamentos populares as margens do Rio Jordão, como as de Borborema, Entra Apulso, Ilha do Destino, o bairro também apresenta população de baixa renda. Entretanto, para Freitas (2008, p.224) “[...] *podemos classificar Boa Viagem como sendo de alta qualidade de vida, com 86% dos domicílios canalizados a rede de abastecimento de água, entre outros indicadores.*”

Moreira & Nóbrega (2011) afirmam que “[...] *as características do uso do solo no bairro de Boa Viagem tem apresentado nos últimos anos um elevado percentual de áreas*

cobertas por asfalto e concreto, as quais são superfícies capazes de converter e armazenar a radiação solar incidente”. Esta realidade apresenta impacto no microclima urbano, contribuindo para a formação de áreas com elevado desconforto térmico, uma vez que contribui para a elevação da temperatura do ar.

Figura 25. Distribuição de Temperatura da Superfície (°C) no bairro de Boa Viagem, Recife, com destaque para a área de estudo.



Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Pela figura 25, é notável perceber que os maiores índices de temperatura da superfície coincidem com áreas de solo exposto e áreas impermeáveis, como é o caso do bairro de Boa Viagem. Percebe-se que a intensificação do adensamento construtivo e a redução da cobertura vegetal têm contribuído de forma direta para o aumento das temperaturas, neste bairro. A pista do Aeroporto Internacional dos Guararapes e o

estacionamento do Shopping Center Recife apresentam o solo intensamente impermeabilizado.

As propriedades térmicas desses materiais facilitam a absorção da radiação solar, armazenando esta energia sob a forma de calor contribuindo para o aumento da temperatura da superfície, e conseqüentemente para o aumento da temperatura do ar, pelo processo da irradiação da superfície. Salienta-se que a falta de umidade da superfície também contribui para o aumento de temperatura.

2.4. Índice de Área Foliar no município do Recife - PE

Desde a década de 1960, os cientistas vêm extraindo e modelando vários parâmetros biofísicos da vegetação com o uso de dados de sensoriamento remoto orbital. Araújo (2006) afirma:

O desenvolvimento de relações funcionais entre as características da vegetação e dados coletados é o objetivo de vários estudos relacionados ao setor agrícola, florestal e até mesmo urbano. Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos, como por exemplo o solo e a atmosfera, a reflectância espectral tem sido combinada e transformada em vários índices de vegetação (ARAÚJO, 2006 p.12).

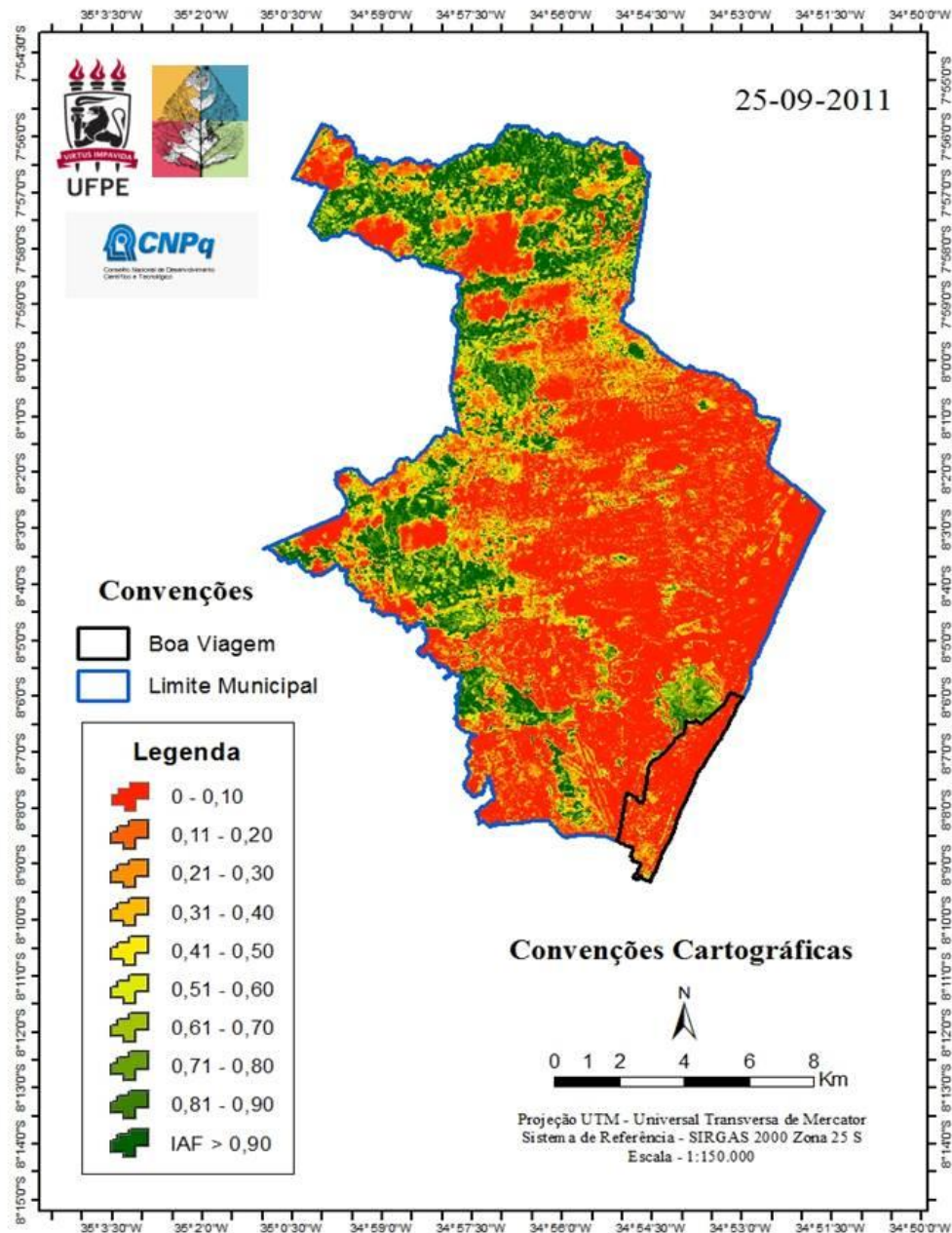
Para Jensen (2011 p.384), “[...] *os Índices de Vegetação são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (RFFA).*

O Índice de Área Foliar (IAF) é um dos índices de vegetação mais utilizados pelos analistas de imagens de sensoriamento remoto orbital. O IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação (JENSEN, 2009). Permite avaliar a distribuição espacial e quantitativa da biomassa de uma determinada área (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009).

Este índice é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem. O IAF apresenta-se como uma variável biofísica que expressa a taxa de crescimento de uma determinada comunidade vegetal, apresentando estreita relação com a produtividade em que esta se encontra (XAVIER *et al.*, 2004 ; PAIVA *et al.*, 2009).

Através da figura 26 é possível visualizar a distribuição espacial do IAF na imagem de 25 de setembro de 2011, demonstrando grande variedade no uso e cobertura do solo em diversas áreas do território municipal do Recife.

Figura 26. Distribuição do Índice de Área Foliar no município do Recife, com destaque para o bairro de Boa Viagem.



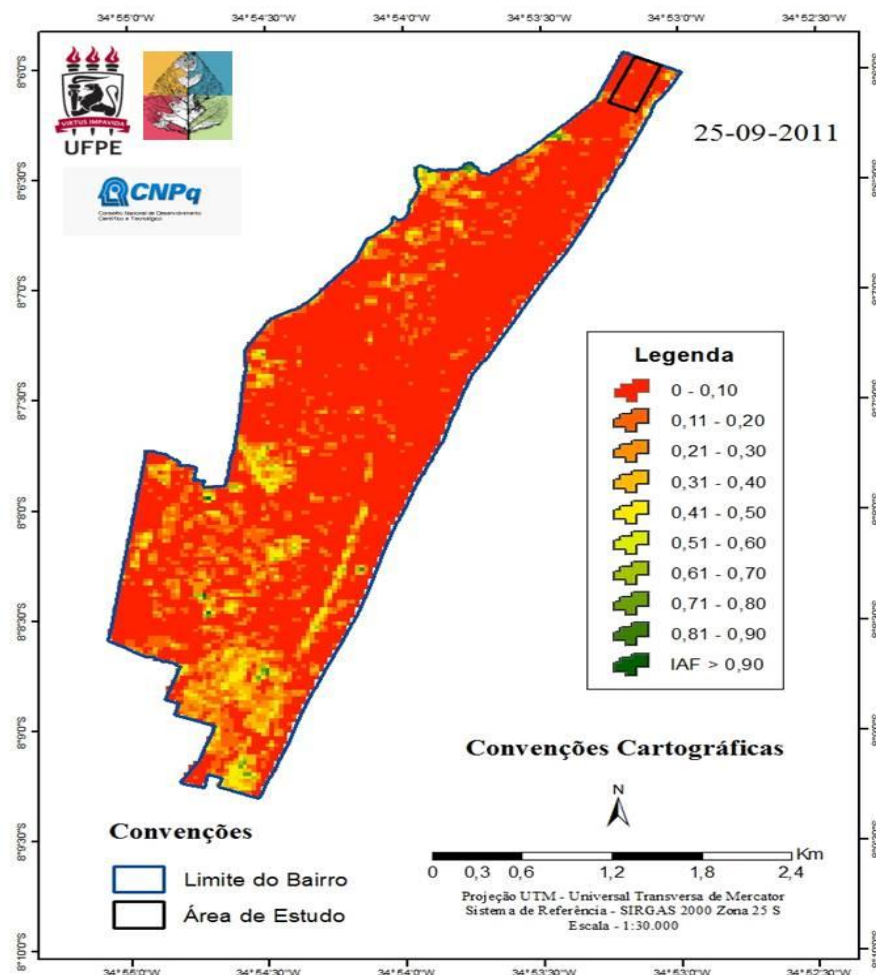
Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Áreas que apresentam corpos hídricos, assim como áreas que não apresentam qualquer tipo de vegetação, como as superfícies impermeabilizadas por materiais de

revestimento exibiram valores de IAF igual à zero. Com relação às áreas de solo exposto os valores de IAF variaram entre zero, na maioria dos casos, para índices muito próximos a zero.

Áreas com vegetação mais densa, ou de porte arbóreo apresentaram valores de IAF com variação entre 0,70 e índices superiores a 0,90. Como exemplos dessas áreas podemos citar os fragmentos florestais da mata de Dois Irmãos, da Várzea, do Curado e do Engenho Uchôa. Braga *et al.* (2009) em estudo realizado nas proximidades da região de Quixeré – CE, encontrou valores de IAF elevados (com variação entre 1,2 a 2,4) em áreas com maior desenvolvimento da vegetação nativa e de agricultura irrigada.

Figura 27. Distribuição do Índice de Área Foliar (IAF) para o bairro de Boa Viagem, com destaque para à área de estudo.



Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Com relação às áreas de urbanização mais consolidadas, como é o caso do bairro de Boa Viagem, foi observado índices de IAF inferiores a 0,50, sendo perceptível a carência de cobertura vegetal neste bairro, conforme demonstra a figura 27.

Isto se deve a vários fatores, entre os quais podemos citar a intensa concentração populacional; o tipo de adensamento demográfico e construtivo, que proporciona, na maioria das vezes, a ocupação de todo o lote por grandes edifícios, não observando os parâmetros urbanísticos contido na Lei de Uso e Ocupação do Solo, que prevê um percentual mínimo de solo natural em cada lote, para determinada região da cidade. Além disso, a impermeabilização do solo substituindo as superfícies naturais, com ou sem vegetação, por materiais como asfalto e concreto, alteram radicalmente as propriedades de impermeabilidade.

Barros *et. al* (2010), utilizando imagens TM do Landsat avaliou a dinâmica de transformação da cobertura do solo do Recife, com valores de IAF para três bairros: Casa Forte, Santo Amaro e Pina. O referido autor afirma que ao longo de vinte anos de intervalos analisados, Casa Forte foi o bairro que obteve os maiores índices de IAF quando comparado com os demais.

Oliveira (2012), em estudo realizado na cidade do Recife, com imagens TM do satélite Landsat, verificou que os menores valores de IAF estavam associados às áreas urbanas e a corpos hídricos enquanto que as áreas de vegetação nativa apresentaram os valores mais elevados.

2.5. Albedo da Superfície no município do Recife - PE

Em ambientes urbanos, as superfícies impermeáveis são constituídas por materiais de revestimento que apresentam características peculiares, capazes de interferir de forma direta no albedo.

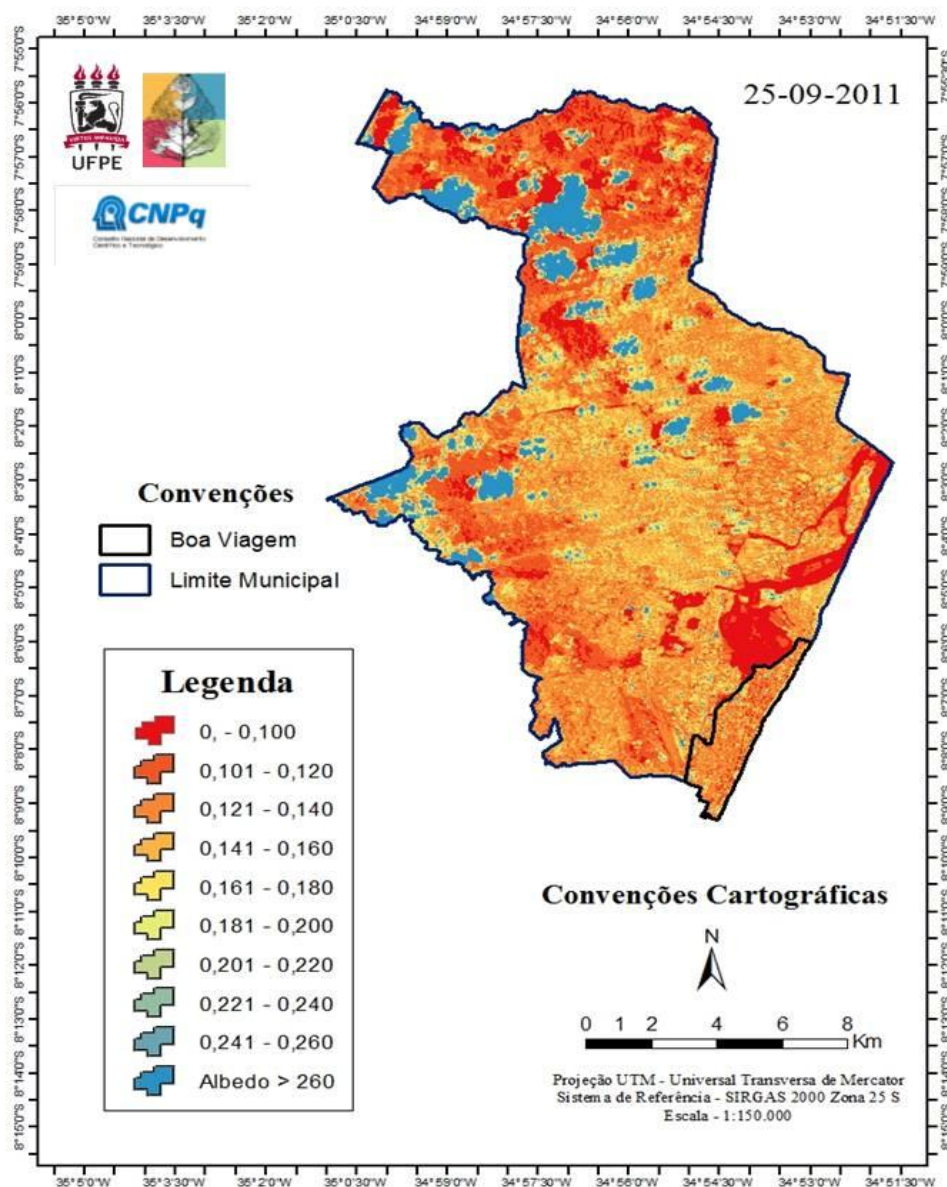
O albedo é uma propriedade física, e consiste na capacidade que os corpos possuem de refletirem a radiação solar que sobre eles incide. O albedo é comumente dado em porcentagem e varia de acordo com a cor e constituição que o corpo apresenta. Deste modo, os valores de albedo serão máximos nos corpos brancos e mínimos nos corpos pretos (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

No município do Recife, figura 28, as áreas de vegetação densa apresentaram os menores valores de albedo da superfície, entre 0 e 0,10. Áreas classificadas como corpos hídricos também apresentaram valores de albedo entre 0 e 0,10. Isto é consequência da alta

absorção da radiação eletromagnética pela vegetação com o objetivo de realizar a fotossíntese. Deste modo, as áreas com vegetação mais densa, ou de porte arbóreo apresentam albedos mais baixos, quando comparados com áreas urbanas (JENSEN, 2009).

Silva et al. (2010), em estudo realizado para o município de Rio Branco-AC, constataram que os maiores valores de albedo estavam relacionados as áreas classificadas como solo exposto e área urbana. Já os menores valores de albedo da superfície estavam associados as áreas de cobertura vegetal e áreas de corpos hídricos.

Figura 28. Distribuição do Albedo da Superfície no município do Recife, com destaque para o bairro de Boa Viagem.

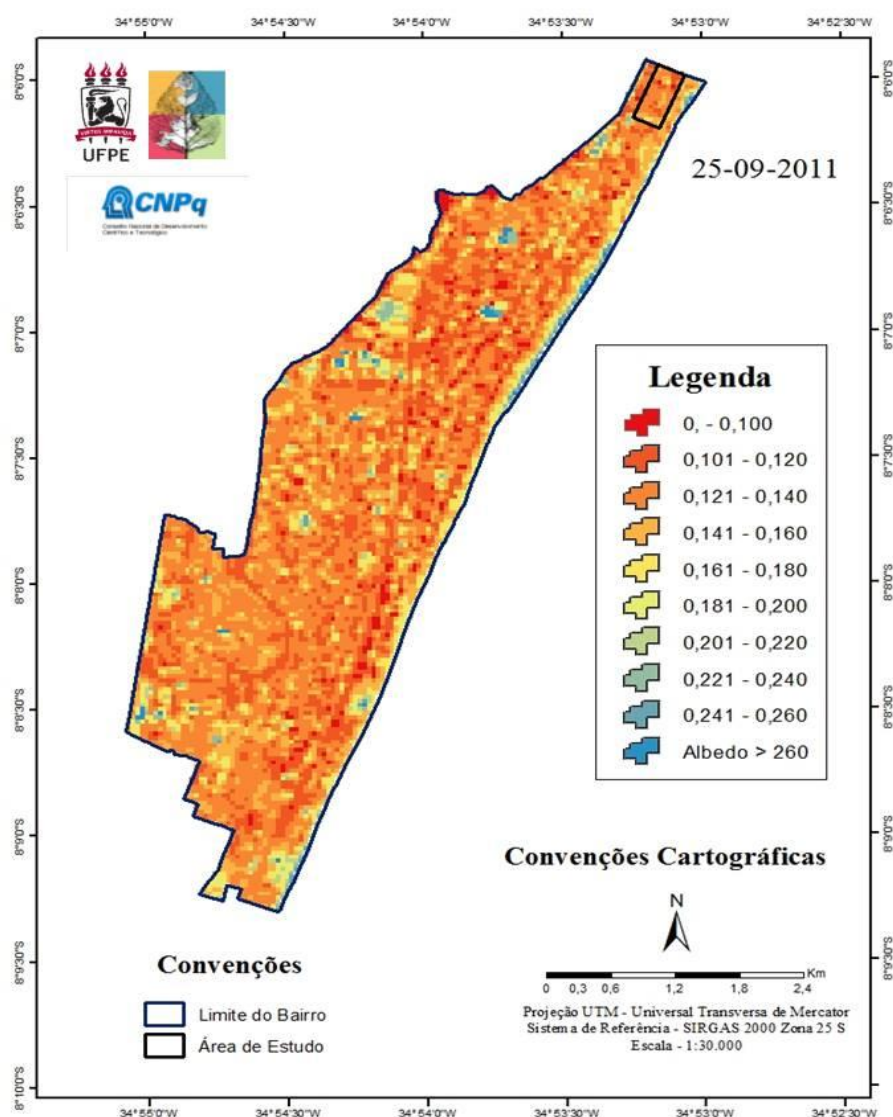


Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Na figura 28, é possível visualizar manchas de tonalidades azul sobre o noroeste, centro-oeste e oeste do município do Recife. Estas manchas são nuvens e sombras de nuvens, pois apresentam valores de albedo acima de 0,26.

O Bairro de Boa Viagem apresentou grande variação nos valores de albedo da superfície, variando de 0 a índices maiores que 0,26, conforme demonstra a figura 29. Entretanto, os valores maiores que 0,26, (áreas com tonalidades azuis) representam nuvens e sombras de nuvens, conforme ressalva feita na figura anterior. Deste modo, os valores predominantes para o bairro variam entre 0 e 0,20.

Figura 29. Distribuição do Albedo de Superfície no bairro de Boa Viagem, com destaque para a área de estudo.



Fonte: INPE (adaptado pelo autor)

Silva et al. (2006), realizaram estudo no município de Petrolina-PE, e estimaram valores de albedo superiores a 35% em áreas que apresentavam solo exposto e superfícies pavimentadas, assim como uma predominância de valores de albedo entre 10 a 25% em áreas irrigadas e com vegetação nativa.

Andrade *et al.* (2013) realizaram estudo através do sensor TM Landsat 5 no município de Santarém localizado no Oeste do Pará, encontraram em corpos hídricos valores do albedo entre 0,5% e 11% na classe água, 14% e 19% em superfícies vegetadas e, nas áreas com alta densidade de construções e solo exposto intervalos entre 26% e 33%.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

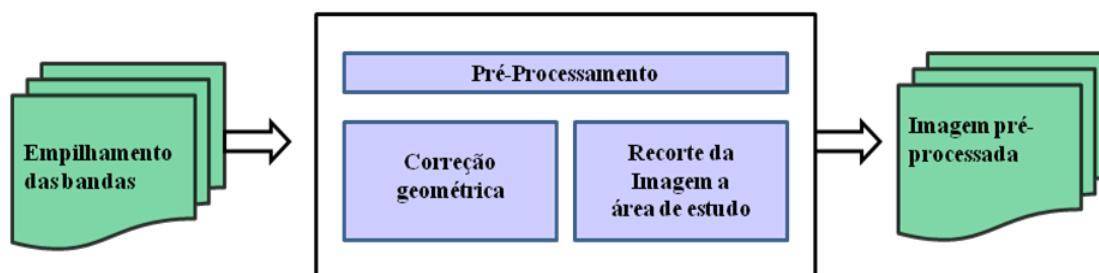
3.1. Aquisição da Base de Dados Espaciais

Foram utilizadas duas imagens do sensor Thematic Mapper (TM), de órbita 214 e pontos 65/66, a bordo do satélite Landsat 5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde inserindo o nome do município, pode-se visualizar as imagens disponíveis. Devido ao cancelamento das atividades do Landsat 5, desativado em dezembro de 2012, a última imagem disponível no catálogo de imagens do INPE, para a região do município do Recife, corresponde ao dia 25 de setembro de 2011.

Utilizando-se das ferramentas disponíveis no software de Geoprocessamento ERDAS Imagine 9.3 (Licença em nome do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, SERGEO, do DCG-UFPE), todas as bandas de cada cena do satélite foram empilhadas. Em seguida, foram efetuadas a ortorretificação das imagens do sensor TM, tomando por base uma imagem de referência, obtida no site do Landsat, conforme demonstra o fluxograma na figura 30.

Todo o pré-processamento e computo dos índices foram realizados com as imagens separadas, em função do município do Recife se apresentar em dois pontos (65 e 66) da órbita 214 do satélite Landsat 5. Ao final do processo a imagem foi recortada ao limite da área de estudo e cada índice gerado foi mosaicado.

Figura 30. Fluxograma de pré-processamento das imagens.

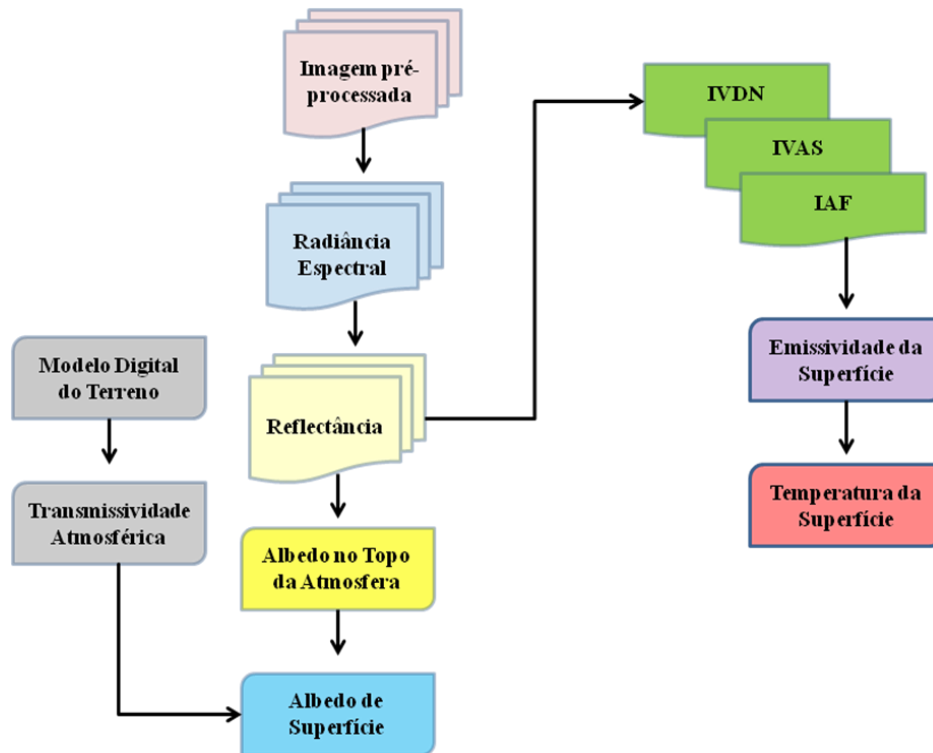


Fonte: Oliveira, T.H (Adaptado pelo autor)

Almeja-se, para o presente estudo, o computo da Temperatura da Superfície, não sendo necessária a aplicação de todas as etapas do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), sendo esta destinada especialmente para a obtenção do Balanço

de Radiação, de Energia e Evapotranspiração. Deste modo, foram desenvolvidos modelos, através da ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 9.3. As etapas do processamento das imagens Landsat 5 para a obtenção da temperatura da superfície podem ser observados através da Figura 31.

Figura 31. Fluxograma para obtenção dos valores de temperatura da superfície.



Fonte: Oliveira, T.H (Adaptado pelo autor)

O Shapefile é um nome genérico para um conjunto de arquivos cuja finalidade é a organização de dados geométricos e alfanuméricos. Foi idealizado pela empresa americana ESRI (Environmental Systems Research Institute) especializada na produção de soluções para áreas de informações geográficas.

Um arquivo Shapefile é formado por um conjunto contendo cinco arquivos de mesmo nome, mas diferenciados por suas extensões. Os dados de natureza gráfica e geométrica são armazenados em arquivos de extensão (SHP), que representa o arquivo principal.

Arquivos em formato SHP com informações da cidade do Recife podem ser obtidas no banco de dados do ESIG – Informações Geográficas do Recife, Prefeitura da Cidade do

Recife. As bases cartográficas, que compõem este estudo, utilizam como referência geodésica e geográfica, as descritas a seguir:

- Sistema de Coordenadas Geográficas – Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM)
- Sistema Geodésico – SIRGAS 2000

3.2. Seleção da Área de Estudo

Através da base de dados espaciais, foi possível a delimitação de um trecho específico, denominado Área de Estudo, tendo por finalidade precípua, realizar observações diretas e medições de elementos climáticos. Deste modo, utilizou-se a imagem termal do sensor TM / Landsat 5, onde foi possível elaborar uma análise da configuração espacial da temperatura da superfície no território do Recife.

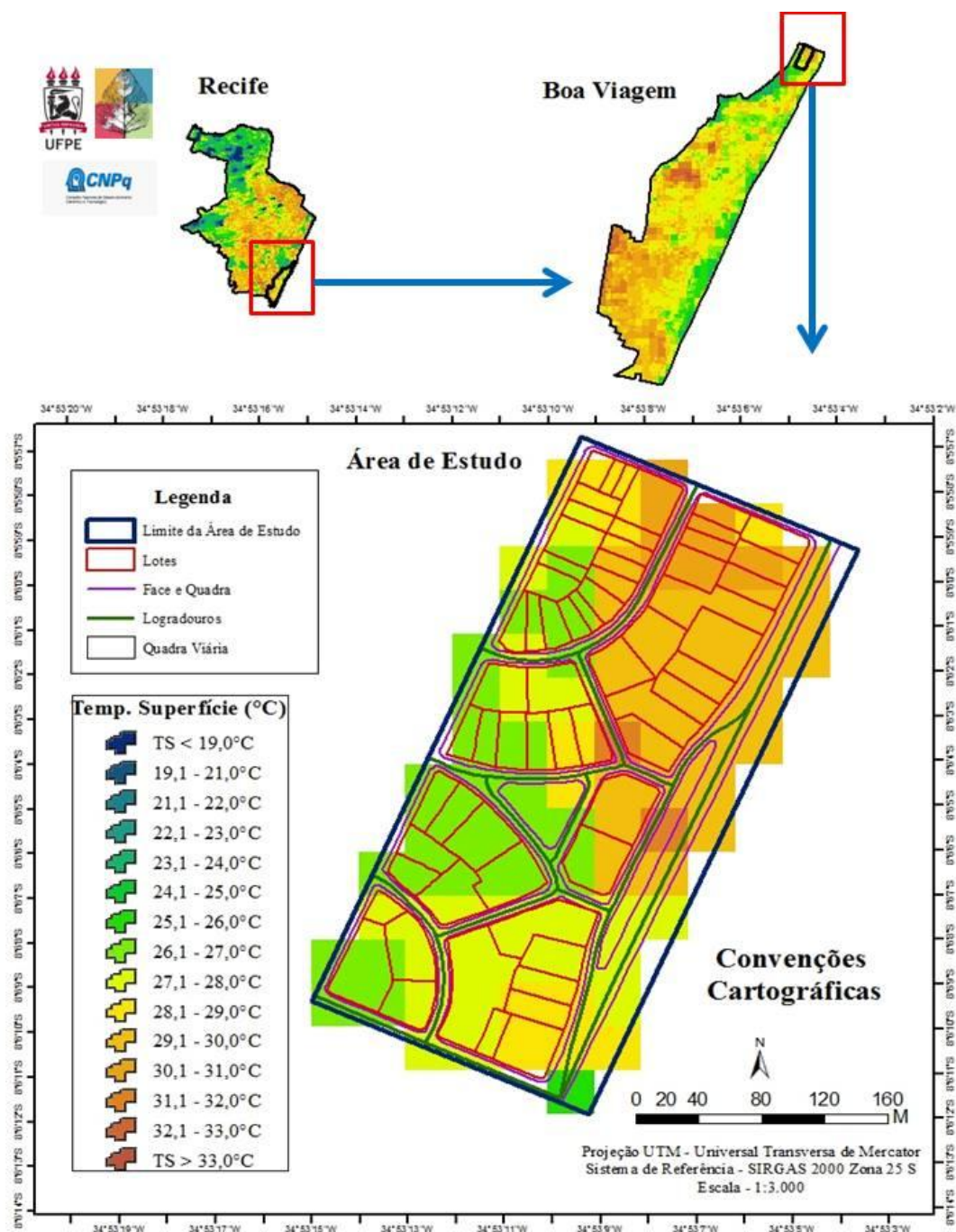
Além disso, foi utilizada uma classificação Não Supervisionada elaborada a partir da ferramenta Spatial Analyst Tools do software ArcGis 10.1 (Licença em nome do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, SERGEO do DCG-UFPE). Neste tipo de classificação, as classes são determinadas pela análise de agrupamentos. Através desta classificação, foi selecionado um recorte espacial, representativo de maior temperatura. Este trecho coincide com o 1ª Jardim de Boa Viagem, conforme demonstra a figura 32.

Analisando a figura 33, é possível notar que existem trechos com valores de temperatura iguais ou superiores aos índices encontrados no 1ª Jardim de Boa Viagem com temperaturas entre 31° a 33°C ou superiores a 33°C. Estas áreas representam, entre outras, edifícios residenciais e comerciais, situados entre a Av. Antônio Falcão e a Rua Padre Bernadino Pessoa, ao estacionamento do Shopping Center Recife e assentamentos populares nas margens do Rio Jordão.

No entanto, as transformações na forma urbana, evidenciadas entre a orla da praia de Boa Viagem e o interior do bairro, impactam diretamente na formação e dinâmica do microclima local, alterando significativamente os índices de temperatura e umidade do ar.

Ademais, O 1ª Jardim de Boa Viagem segue o padrão de construções com alturas elevadas, alta taxa de ocupação dos lotes, com edifícios muito próximos um dos outros, formando um cinturão de prédios, característico de áreas com elevada densidade construtiva e verticalizada.

Figura 32. Esquema representativo da seleção da área de estudo, mediante classificação Não Supervisionada da temperatura da superfície utilizando a imagem TM Landsat 5.

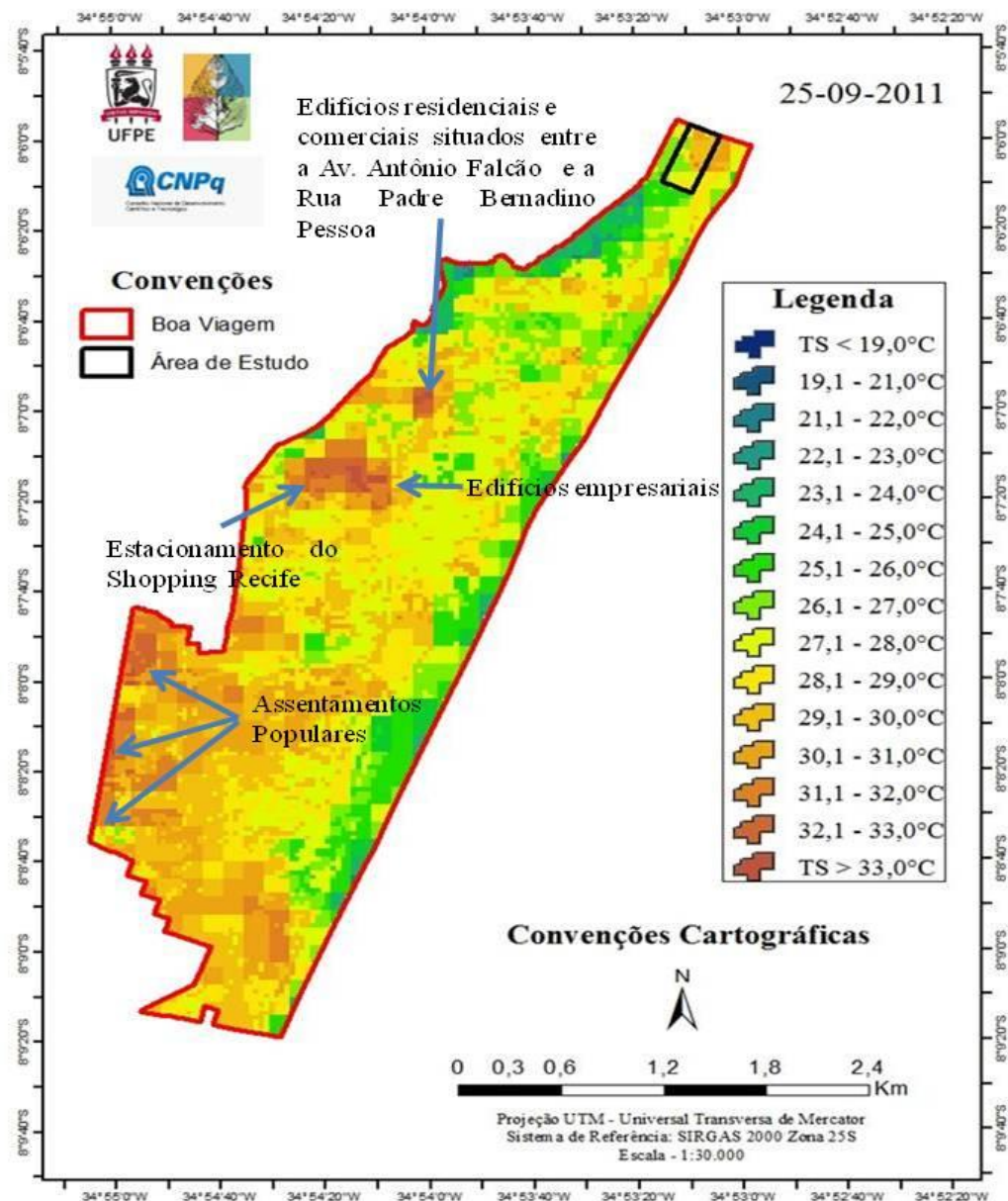


Fonte: ESIG (adaptado pelo autor)

Entretanto, esta verticalização ocorre predominantemente nas quadras mais próximas da Avenida Boa Viagem, caracterizada por edificações residenciais multifamiliares. Ao avançar para o interior do bairro, nas quadras próximas à Avenida Conselheiro Aguiar, o uso predominante deixa de ser o residencial, prevalecendo o uso comercial em edificações de

baixa altura, com casos pontuais de edifícios de média altura. Pelas razões expostas, corroboram-se os motivos pela escolha do 1ª Jardim de Boa Viagem como objeto empírico desta pesquisa.

Figura 33. Espacialização dos trechos que obtiveram as maiores temperaturas da superfície no bairro de Boa Viagem.



Fonte: ESIG (Adaptado pelo autor)

Foram selecionados 04 pontos para a coleta das variáveis climáticas, espacializados conforme o mapa da figura 34. A escolha dos pontos de coleta foi realizada em decorrência da

diversidade de materiais, do uso e ocupação do solo e da forma urbana. Foram caracterizados o entorno circundante aos pontos de coleta, observando os fatores naturais (topografia, vegetação, corpos d'água) antrópicos (volumes edificados, traçado viário, fluxos de automóveis, atividades humanas), relacionando-os com o perfil microclimático do local.

Estes pontos de coleta de dados formam uma área retangular cujos vértices coincidem com os cruzamentos da Rua Tomé Gibson / Av. Boa Viagem, Av. Boa Viagem / Rua Frei Leandro, Rua Frei Leandro / Av. Conselheiro Aguiar e Av. Conselheiro Aguiar / Rua Tomé Gibson.

Figura 34. Espacialização dos Pontos de Medição na área de estudo, bairro de Boa Viagem, Recife – PE.

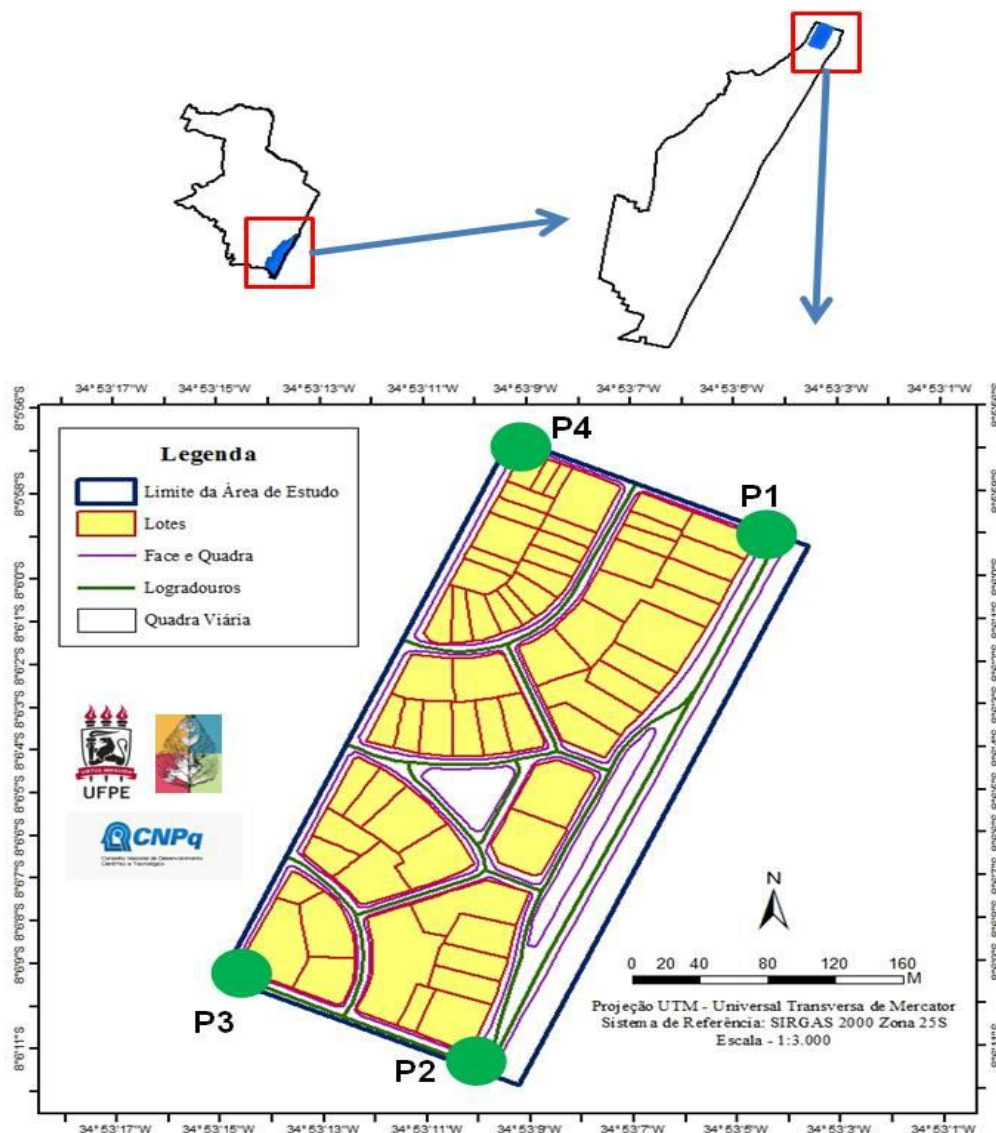


Figura 35. Espacialização dos Pontos de Medição na imagem do sensor QUICK BIRD, Digital Globe, empresa que fornece as imagens do Google Earth.

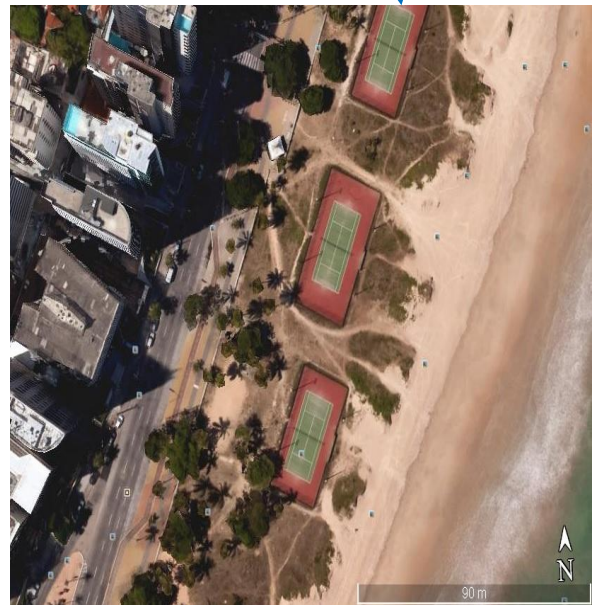
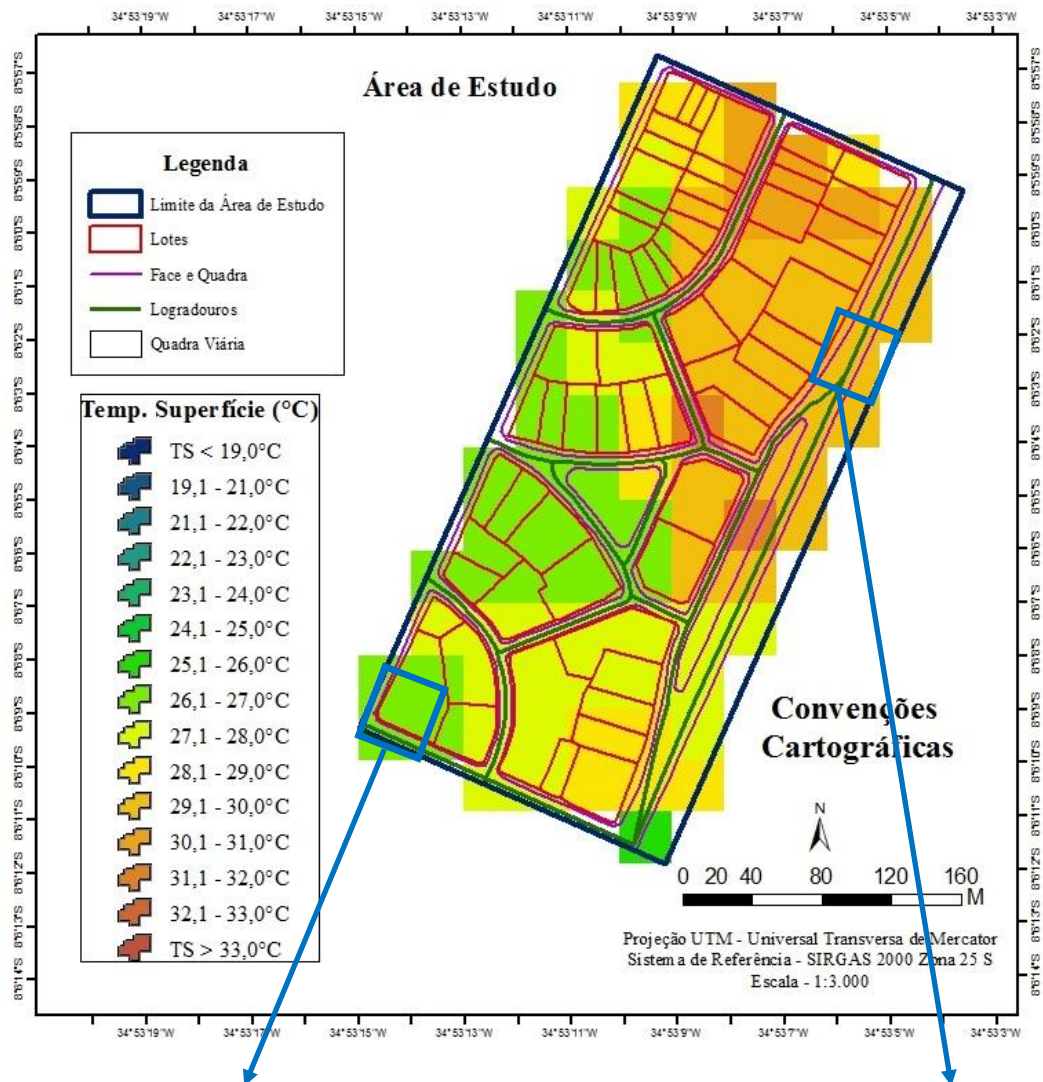


Fonte: Google Earth, 2015.

Pela figura 36, é possível visualizar a distribuição espacial de temperaturas da superfície para o 1ª Jardim de Boa Viagem, que compreende o objeto empírico desta pesquisa. Nesta imagem, os menores valores de temperatura estão representados pela tonalidade verde, variando de 25,0°C até 27,0°C. Os valores intermediários, representados na figura pelas tonalidades amarela e laranja, variam de 27,1°C até 31,0°C. Já os maiores índices estão acima dos 32,0°C, representados pela tonalidade vermelho escuro. Os tipos de materiais utilizados em pavimentos exercem forte influência na amplitude desses valores de temperatura.

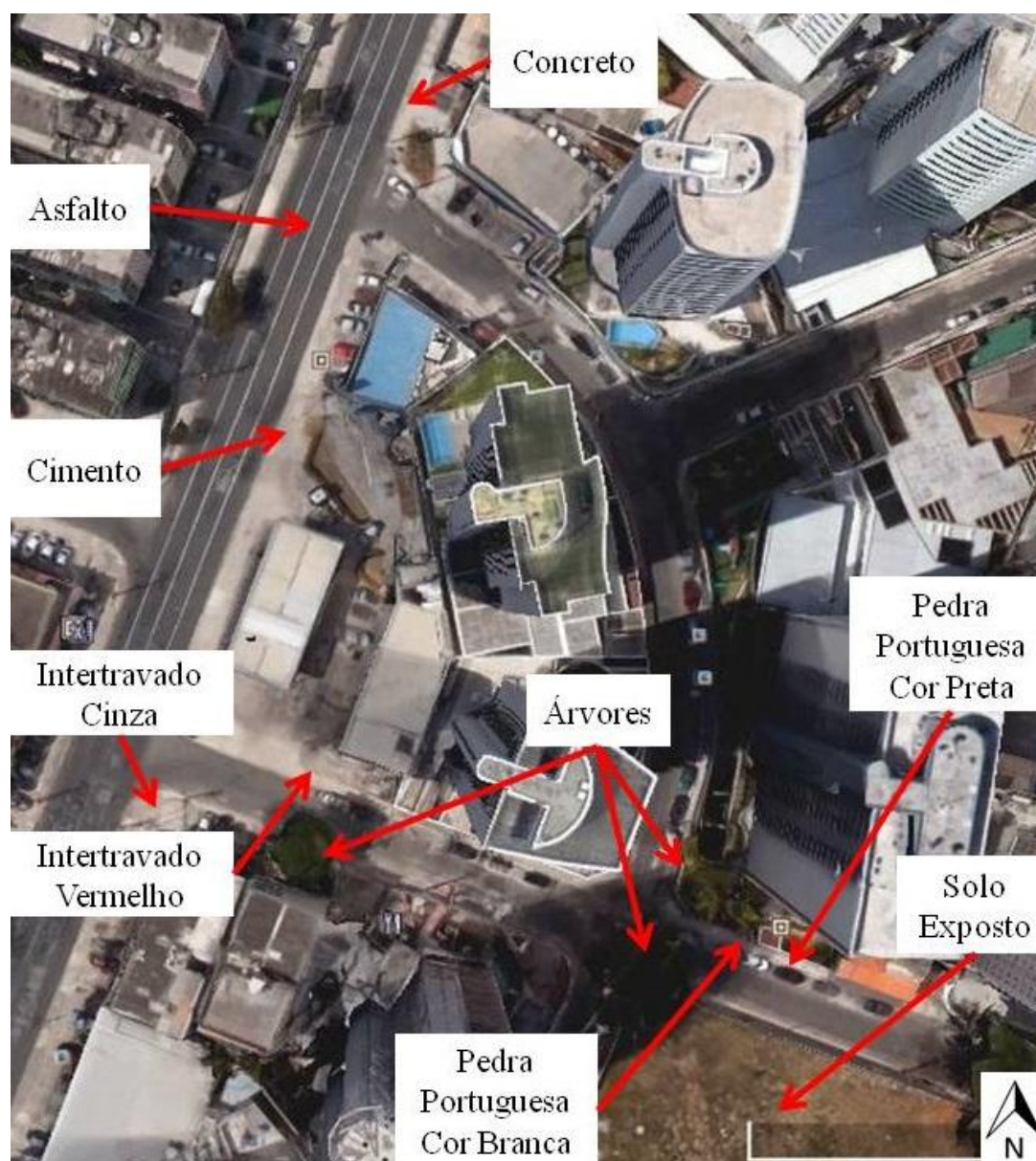
Deste modo, com a finalidade de avaliar a contribuição dos principais materiais no armazenamento de calor e consoante a isto, o aumento da temperatura do ambiente, e a redução da umidade do ar, haja vista, as imagens utilizadas para o computo da temperatura de superfície datarem de 25 de setembro de 2011, foram necessárias diversas visitas ao 1ª Jardim de Boa Viagem, no intuito de realizar observações no uso e cobertura do solo e aferir os dados climáticos.

Figura 36. Distribuição espacial dos valores de Temperatura da Superfície no entorno ao 1ª Jardim de Boa Viagem.



Fonte: ESIG (Adaptado pelo autor); Google Earth, 2015.

Figura 37. Identificação dos tipos de superfície no entorno ao ponto de medição P3.



Fonte: Google Earth, 2015 (Adaptado pelo Autor)

Através da figura 36, é possível perceber algumas limitações no emprego do sensoriamento remoto orbital para análise de espaços intraurbanos, sobretudo, quando se utiliza imagens com média resolução espacial, como é o caso do sensor TM do Landsat 5. Numa área relativamente pequena da figura 36, correspondendo aos valores de temperatura entre 30,0° e 32,0°C existe uma imensa variedade de materiais, que tornar praticamente impossível computar os dados de temperatura para cada material. Do mesmo modo, a área destacada no mapa, correspondendo ao intervalo entre 25,0° e 27,0°C também possui uma diversidade de materiais.

Figura 38. Identificação dos tipos de superfície no entorno ao ponto de medição P1.



Fonte: Google Earth, 2015 (Adaptado pelo Autor)

Primordialmente, convém salientar que os dados de temperatura da superfície obtidos por intermédio de imagens de satélite não correspondem a uma média aritmética das temperaturas de todos os objetos e alvos presentes num pixel da imagem.

Ao considerar a Lei de Planck, segundo a qual “[...] a quantidade de radiação eletromagnética emitida por um corpo depende basicamente de sua temperatura superficial, todo corpo cuja temperatura esteja acima de 0 K (-273 °C) emite radiação” (ROSA, 2009 p. 24), e ponderar a capacidade dos sensores em captar a radiação de ondas longas emitida na faixa do infravermelho termal, ou seja, a radiação emitida pelos objetos na superfície é

possível computar a temperatura de determinada área, por meio da transformação dos tons de cinza das imagens termais em valores de temperatura da superfície, baseando-se, para isso, na aplicação de um algoritmo.

Entretanto, alguns fatores como a influência da atmosfera, a emissividade dos materiais, a morfologia urbana e o próprio tratamento digital da imagem alteram significativamente, a veracidade das informações de temperatura da superfície coletada por sensores remotos orbitais.

O uso dos sensores remotos no computo da temperatura da superfície exige que sejam realizadas correções atmosféricas – ao considerar que a atmosfera interage com a radiação emitida pela superfície – e de emissividade – já que diferentes materiais e usos emitem diferentes quantidades de energia termal. Caso tais correções não sejam realizadas, pode haver uma “[...] *contestação dos valores de incremento de temperatura encontrados* [...]” (STEINKE, 2004, p.56). A falta da correção atmosférica, por exemplo, pode introduzir um erro de 4 a 7° C na temperatura obtida por um sensor (STEINKE, 2004).

É de fundamental importância salientar que a Atmosfera ao interagir com a radiação solar no percurso Atmosfera/Superfície Terrestre/Sensor Remoto possui uma variação no tempo, ou seja, “[...] *imagens obtidas em datas distintas apresentam-se sob diferentes condições atmosféricas* [...]” (SILVA et al. 2003). Essas condições resultam da dinâmica dos sistemas atmosféricos. Por isso ressalta-se que as imagens temporais apresentam certa predisposição a erros em seus dados, não podendo ser tratadas da mesma forma que imagens mais recentes.

Com relação a morfologia urbana e emissividade dos materiais, Herold et al. (2004) citado por Jensen (2009) coletou medidas espectrais para alvos urbanos e revelou as limitações do sensoriamento remoto de média resolução espectral para o mapeamento detalhado de materiais urbanos e suas condições. Jensen (2009) complementa:

Infelizmente, eles se depararam com uma considerável confusão espectral entre alguns tipos de cobertura do solo urbano (tipos específicos de telhados/lajes e pavimentação de vias). Small (2002, 2003, 2004) mostrou como diferentes materiais encontrados no IFOV de um sistema sensor (denominados componentes, tais como concreto, asfalto, vegetação, etc.) contribuem para a reflectância espectral urbana e como eles podem ser separados por meio da análise de mistura espectral (JENSEN, 2009 p.451)

Outra questão importante diz respeito à capacidade do pré-tratamento digital das imagens em alterar os valores digitais, como exemplo, a aplicação de filtros, de realces e mesmo o

processo de registro das imagens. Em particular, este último (registro de imagens) através de operações matemáticas alteram os valores da imagem.

Deste modo, as áreas urbanas e suburbanas apresentam muitas dificuldades para computar a temperatura de superfície utilizando-se de imagens digitais. O menor tamanho dos materiais e a grande variação espectral presentes numa imagem de sensor remoto orbital são fatores que limitam a precisão para o computo da temperatura da superfície (ESTEVES, 2006). “[...] *Muitas vezes um pixel registra a reflectância de uma área em que há ocorrência de mais de um tipo de cobertura, ocorrendo o problema do pixel mistura*”. (ESTEVES, 2006 p.02).

Todavia, convém salientar que vários são os métodos para determinação da temperatura da superfície. A utilização de dados provenientes de equipamentos portáteis como o Termômetro Infravermelho digital com mira a laser, para medições *in loco* são mais indicados pela confiabilidade do valor real dos dados.

Porém, sua espacialização não apresenta a adequação quanto à compreensão do fenômeno, visto que a representação dos valores de temperatura do ar em isolinhas não informa a real extensão dos valores, mas sim a extensão da variação entre aqueles coletados, resultando assim, numa forte generalização (LOMBARDO, 1985). Este fato justifica o emprego do sensoriamento remoto orbital como técnica em tais vias de estudo.

3.3. Pesquisa de Campo

As medições das variáveis climáticas ocorreram nos dias 16, 17 e 18 de Janeiro de 2015. Para cada ponto de coleta houve aferição dos dados no turno da manhã, em torno das 09h00, e no turno da tarde por volta das 15h00. Esses horários são utilizados como referências para o registro de dados meteorológicos tanto no plano internacional pela WMO (World Meteorological Organization), quanto no plano interno pelo SBMET (Sociedade Brasileira de Meteorologia).

A pesquisa de campo foi realizada no período próximo ao solstício de verão para o hemisfério sul (21 de dezembro), em virtude dos altos índices de radiação solar, pouca nebulosidade e ausência de chuvas, observados nesse período, necessários para o objetivo precípuo desse estudo. É de fundamental importância ressaltar, que o planejamento inicial da pesquisa previa, tão somente, as medições das variáveis climáticas no solstício de verão, posto que, não é objetivo do trabalho avaliar o comportamento térmico dos materiais em duas ou mais estações do ano.

Durante os três dias escolhidos para a pesquisa de campo não houve a ocorrência de chuvas no município do Recife, conforme demonstra a tabela 4. Essa informação assume fundamental importância, pois eventos de precipitações, mesmo aqueles de baixa intensidade, influenciam na apuração dos dados de temperatura da superfície, uma vez que, com os pavimentos úmidos não seriam possíveis avaliar o comportamento térmico dos materiais, eles estariam sobre o efeito da umidade das águas pluviais.

TABELA 4. Dados de Precipitação e Radiação da Estação Convencional do INMET, situada no bairro do Curado, Recife.

Data	Hora	Radiação	Chuva
	UTC	(kJ/m ²)	(mm)
16/01/2015 Sexta	9h	88.1	0.0
	15h	4847.0	0.0
17/01/2015 Sábado	9h	118.0	0.0
	15h	2382.0	0.0
18/01/2015 Domingo	9h	70.2	0.0
	15h	2766.0	0.0

Fonte: INMET (Adaptado pelo autor)

Através da tabela 4 é possível visualizar os maiores valores de radiação solar para o horário das 15h00 (UTC) nos três dias de medições. Isto ocorre, porque o turno da manhã é caracterizado pelo aquecimento do ar que se inicia com o nascer do sol e decorre, preferencialmente, da perda de energia da superfície por processos de emissão e condução de calor sensível (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Embora o sol esteja mais elevado no horizonte às 12h locais, somente por volta das 14h é que ocorrerá a temperatura máxima do dia. Isto explica o motivo, pelo qual, os valores de temperatura dos materiais serem maiores no período da tarde. Por volta das 15h00 (UTC), os materiais tendem a atingir sua capacidade calorífica, armazenando a energia térmica sob a forma de calor, para posteriormente emitir, sob a forma de ondas longas, o calor para o ambiente, conseqüentemente aumentando a temperatura do ar. Devido a este fato, torna-se dispendiosa e desnecessária as medições das variáveis climáticas durante o período noturno.

Os dados coletados a partir das medições das variáveis climáticas foram comparados aos disponibilizados pela Estação Meteorológica Convencional INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, situada no bairro do Curado, cidade do Recife-PE.

No entanto, convém salientar que as localidades onde são instaladas as estações fixas pode não refletir a veracidade das informações coletadas, levando a interpretações equivocadas sobre a dinâmica das ilhas de calor.

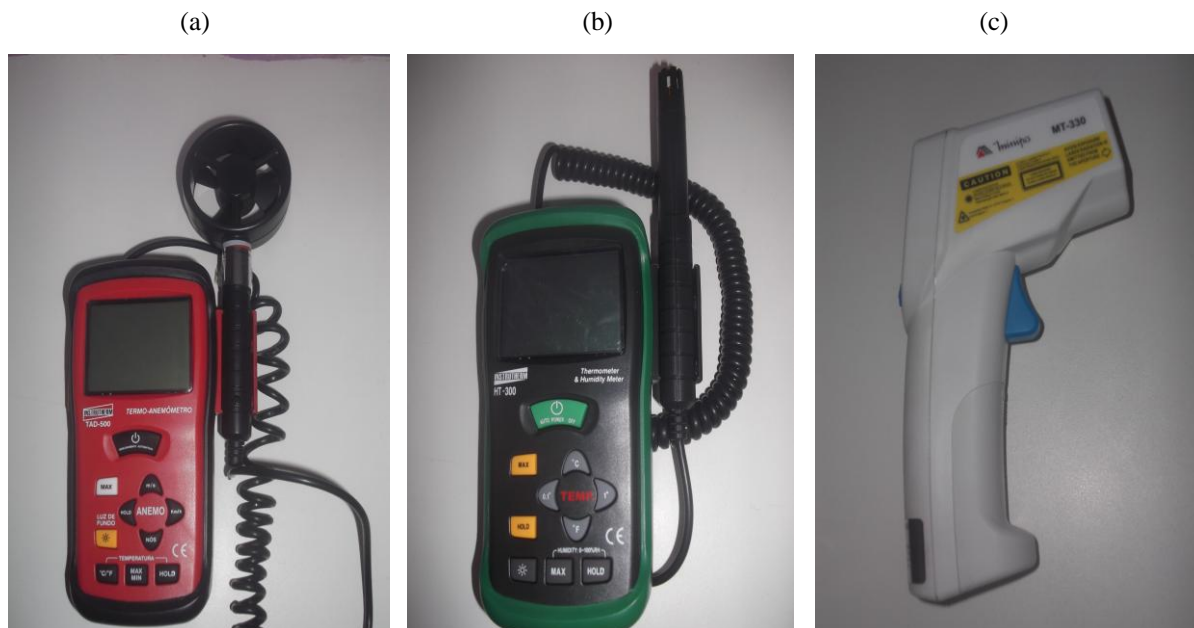
No caso particular da cidade do Recife-PE, a estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situada no bairro do Curado, sofre com o avanço dos subúrbios no entorno, e por este motivo, pode não representar, da melhor maneira possível, o ambiente natural que existia antes da urbanização. Além disso, a Estação do INMET está situada numa área que apresenta configurações de uso e ocupação diferenciados, distando aproximadamente 15 km da área de estudo.

Para as medições das variáveis climáticas foram utilizados um Termo-Anemômetro digital portátil, modelo TAD-500, marca Instrutherm, equipamento que aferi tanto a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) quanto à velocidade do vento. Além disso, foi utilizado um Termo-Higrômetro digital portátil, modelo HT-300, marca Instrutherm, instrumento que medi tanto a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) quanto à umidade relativa do ar (%), e uma Bússola para indicar a direção predominante do vento.

Os instrumentos de medição ficaram posicionados à uma altura de 1,50m da superfície e afastado do corpo dos voluntários e também de qualquer outro obstáculo no recinto. Em cada ponto de medição, houve a necessidade de um período de cinco minutos para a estabilização dos equipamentos. Passados cinco minutos, anotavam-se os valores da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e da umidade relativa do ar (%). Para as medições de temperatura da superfície, direção e velocidade dos ventos não houve a necessidade de estabilização dos instrumentos. Este procedimento destina-se apenas para a temperatura e umidade relativa do ar.

Quando observado a direção predominante do vento, posicionava-se o Termo-Anemômetro ao seu encontro e anotavam-se os valores da velocidade do vento (m/s), um valor a cada minuto. Em seguida elaborou-se uma média aritmética dos cinco valores de velocidade do vento.

Figura 39. Instrumentos utilizados durante a pesquisa de campo: (a) Termo-Anemômetro (b) Termo-Higrômetro (c) Termômetro infravermelho de mira a laser.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Foram identificados, sob o ponto de vista quantitativo, os materiais de revestimento presentes em pavimentos, passeios públicos e na praça do 1^a Jardim de Boa Viagem. Logo após, mediu-se a temperatura de um mesmo revestimento de superfície, de tal forma, que este revestimento medido comportasse trechos ao sol e à sombra, visando analisar o desempenho dos materiais de acordo com a diversidade de uso e de ocupação do solo, proporcionando diversidade e regularidade nos valores reunidos.

No intuito de obter valores específicos para cada tipo de material, foram utilizados dois Termômetros Infravermelhos digitais com mira a laser, modelo MT 330, marca Minipa. Dois voluntários ficavam responsáveis pela coleta dos dados, e um terceiro membro registrava os valores recolhidos em uma tabela. Após a pesquisa de campo, foi elaborado um tratamento estatístico, que consiste na média aritmética dos valores de temperatura para cada material, em cada ponto de coleta e nos três dias de medições, observados os período da manhã e tarde.

Estes dados tiveram como finalidade analisar o desempenho das diferentes superfícies selecionadas, visando subsidiar decisões e especificações em futuras intervenções nas calçadas e vias das cidades, contribuindo para um aumento na qualidade ambiental do município do Recife.

Figura 40. Imagens das medições durante a pesquisa de campo, em diferentes momentos, bairro de Boa Viagem, Recife – PE.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

No presente estudo procurou-se observar o comportamento térmico de alguns materiais de construção, utilizados na pavimentação superficial do solo. Foram identificados, sob à análise quantitativa, nove tipos de materiais, incluindo as superfícies cobertas por grama e solo desnudo, aqui classificados como elementos naturais em meio a diversidade de materiais na áreas urbanas.

4. ANÁLISE DE RECINTOS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO 1ª JARDIM DE BOA VIAGEM, RECIFE – PE

4.1. Urbanização no bairro de Boa Viagem

Comparado ao processo histórico de ocupação urbana do Recife, o bairro de Boa Viagem possui urbanização relativamente recente. Os rios e os manguezais do Recife muito contribuíram para a formação e estruturação do seu sítio urbano. Os engenhos, responsáveis pela economia açucareira, dominavam a paisagem da planície estuarina do rio Capibaribe. O Porto do Recife assumia um papel fundamental no escoamento da produção do açúcar, consoante a isto, alguns núcleos de povoamento foram surgindo, com a implantação de engenhos de açúcar ao longo de vias terrestres e margeando o rio Capibaribe (REZENDE, 2002).

Até meados de 1920, Boa viagem era constituída por pequenas comunidades de pescadores, algumas casas de veraneio e um pequeno núcleo de povoação nos arredores da capela de Nossa Senhora da Boa Viagem (MOREIRA, 1994; HERRERA, 1992). O ambiente litorâneo era formado por grandes alagados, vegetação de restingas, coqueiros e manguezais. Dentre os ecossistemas, destaca-se o Manguezal do Pina, com mais de 300 hectares de área, localizado na zona sul do Recife, sendo o maior remanescente de vegetação de mangue no sítio urbano.

A construção da ponte do Pina, em 1923, e a inauguração da Avenida Beira-Mar, hoje conhecida por Avenida Boa Viagem, em 1926, são considerados dois importantes marcos históricos no processo de urbanização do bairro. No entanto, o acelerado processo de urbanização consolidou o aterro sobre rios e manguezais como prática usual e forma específica de criação de solo para ampliação do espaço urbano construído (BEZERRA, 2000).

A urbanização intensiva alterou a dinâmica do sistema natural da cidade, comprometendo a integridade das águas e dos manguezais. A quebra do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos provocou o comprometimento do ciclo dos nutrientes, causando desaparecimento de espécies e, consequentemente, afetando a produtividade pesqueira e a degradação do solo. Isso foi consequência das drásticas formas de desmatamento para utilização do mangue como combustível, para obtenção de madeira para construção civil (estacas, cercas, molhes, paliçadas) ou mesmo barcos e artefatos artesanais de pesca (BEZERRA, 2000 p.99).

Na década de 1940, observou-se um novo fenômeno urbanístico, quando as então casas de veraneios foram transformadas em residências permanentes, como elucida Rocha:

Nesta década, o bairro de Boa Viagem desenvolveu-se para oferecer infraestrutura adequada para receber definitivamente, e não mais sazonalmente, a elite recifense. Consolidava-se o símbolo espacial de *status* e sucesso social das elites, e consequentemente, consolidava-se a valorização fundiária e imobiliária no bairro de Boa Viagem [...] Além da ocupação definitiva das casas de veraneio pela elite recifense, uma nova classe passa a ocupar o bairro de Boa Viagem - a classe média, a mais nova consumidora de bens duráveis (ROCHA, 2013 p.03).

Assim, teve início o processo de parcelamento do solo urbano, como os loteamentos do 1ª, 2ª e 3ª Jardins de Boa Viagem, e novas obras de infraestrutura foram consolidadas. A maior parte do bairro já se encontrava ocupada por residências unifamiliares, e outras áreas verticalizava-se lentamente (HERRERA, 1992; SANTANA, 1998).

Em fins da década de 1970, o crescimento das construções e os investimentos em infraestrutura urbana modificaram a paisagem do bairro em direção à verticalização, ao adensamento construtivo, sobretudo nos lotes do 1ª Jardim de Boa Viagem, intensificando a substituição das residências unifamiliares para os edifícios multifamiliares de pequeno e médio porte (ROCHA, 2013).

Na década de 90 o bairro de Boa Viagem já se destaca como o bairro mais populoso da cidade do Recife, e o segundo mais adensado da cidade junto com o Pina, perdendo apenas para o conjunto Graças, Aflitos, Espinheiro e Derby (PCR/EMPREL CADASTRO IMOBILIÁRIO, 1995 apud SANTANA, 1998). Atualmente, Boa Viagem é o bairro de maior ocupação verticalizada, além de uma elevada densidade construtiva, é o bairro mais populoso da cidade do Recife, com 122.922 habitantes (PREFEITURA DO RECIFE, 2010).

Deste modo, o 1ª Jardim de Boa Viagem segue o padrão de construções com alturas elevadas, com máximo aproveitamento do coeficiente de utilização do terreno, ou seja, alta taxa de ocupação dos lotes, com edifícios muito próximos um dos outros, formando um cinturão de prédios, característico de áreas com elevada densidade construtiva e verticalizada.

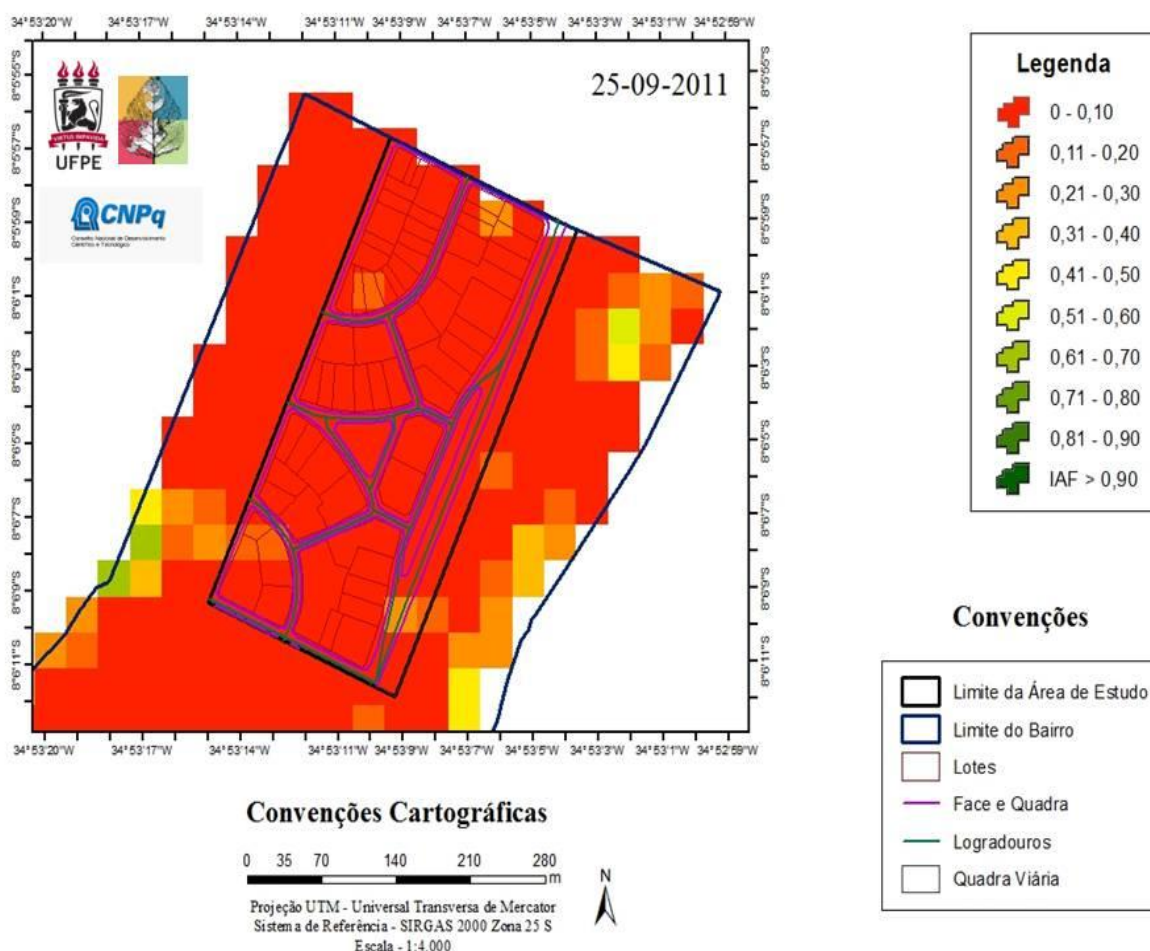
4.2. Aspectos Ambientais do 1ª Jardim de Boa Viagem

As transformações ambientais são bastante evidenciadas no bairro de boa viagem, onde temos características de um clima natural, com o microclima na orla da praia de Boa Viagem. No interior do bairro, a alta densidade construtiva, impermeabilização do solo e escassez de áreas verdes, condiciona a formação e dinâmica de outros microclimas.

Vegetação de porte arbóreo, arbustivo ou herbáceo (gramas), presentes em espaços públicos (praças, parques) ou particulares (playground, jardins) contribuem de maneira significativa para o resfriamento do entorno circundante.

Através da figura 41, é possível observar os valores do IAF (Índice de Área Foliar) para o 1ª Jardim de Boa Viagem. Os valores de IAF variam entre 0 e 0,10, sendo perceptível a ausência de cobertura vegetal na área de estudo.

Figura 41. Distribuição espacial dos valores do Índice de Área Foliar (IAF) no entorno ao 1ª Jardim de Boa Viagem.



Fonte: ESIG (Adaptado pelo autor)

Isto demonstra que a distribuição da cobertura vegetal nas áreas adjacentes ao 1ª Jardim são formadas por árvores isoladas em calçadas, dificultando a circulação de pedestres e cadeirantes, ou em equipamentos públicos, como a praça do 1ª Jardim de Boa Viagem. Além disso, a superfície com gramas é pouco utilizada quando comparada a todos os outros tipos de superfícies.

Figura 42. Imagens da praça do 1ª Jardim de Boa Viagem e seu entorno. É notável a presença de vegetação apenas na praça.

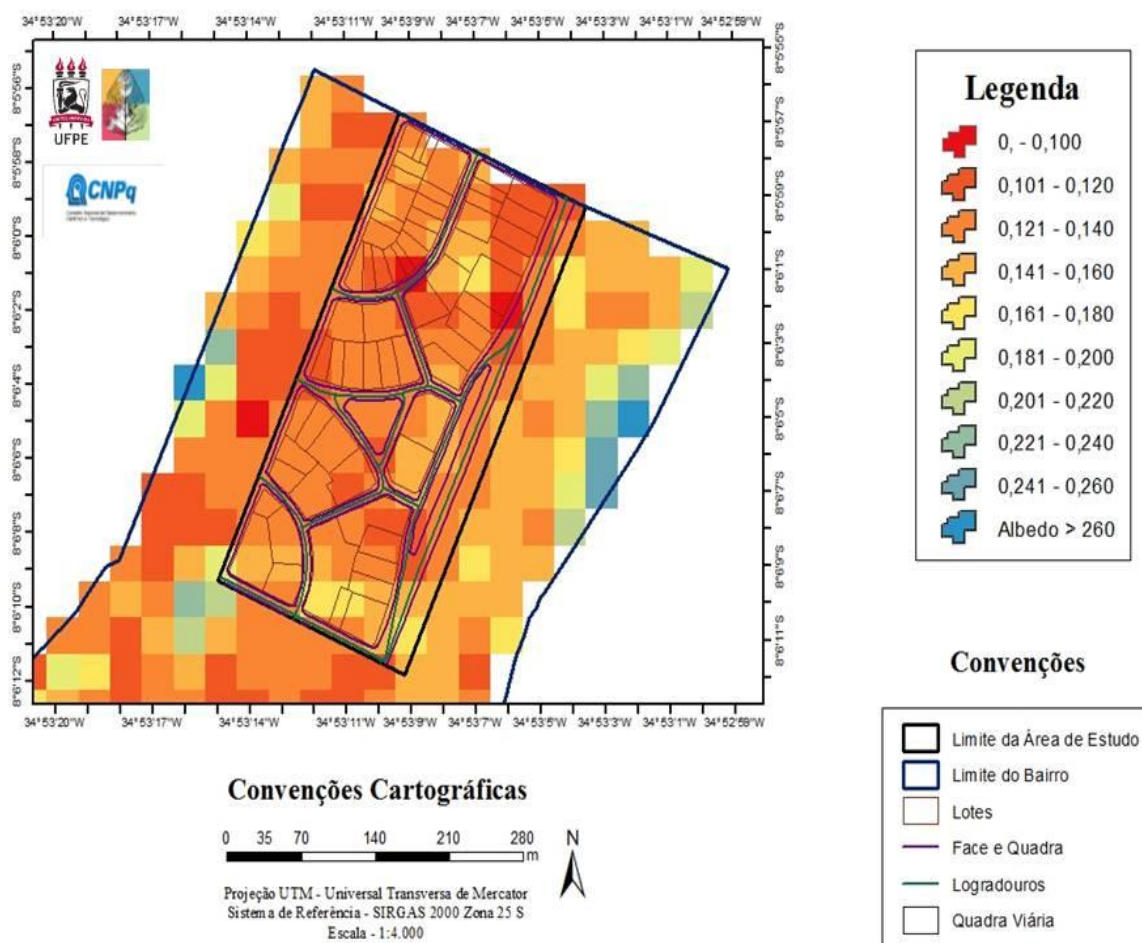


Fonte: Macedo, R.X (2015)

A utilização de superfícies com gramas permite a redução da temperatura local, já que aumenta a umidade, amenizando a temperatura. Em episódios de chuvas intensas, o solo permeável do gramado possibilita a infiltração das águas pluviais, evitando os alagamentos. Apesar dos benefícios, a grama apresenta maior necessidade de manutenção e custos adicionais.

De acordo com Lombardo (1985), em virtude da expansão das cidades, materiais empregados na construção civil com diferentes padrões de reflectividade, ou albedos, são observados na morfologia urbana. Esses materiais são expressões das diversas formas de uso e ocupação do solo, possibilitando a existência de diferentes características de albedo.

Figura 43. Distribuição espacial dos valores de Albedo da Superfície no entorno ao 1ª Jardim de Boa Viagem



Fonte: ESIG (Adaptado pelo autor)

Os índices de albedo da superfície para o 1ª Jardim de Boa Viagem varia de 0 a 0,18%. Esta imensa variabilidade está associado com diferentes padrões de reflectividade dos materiais empregados no revestimento do solo.

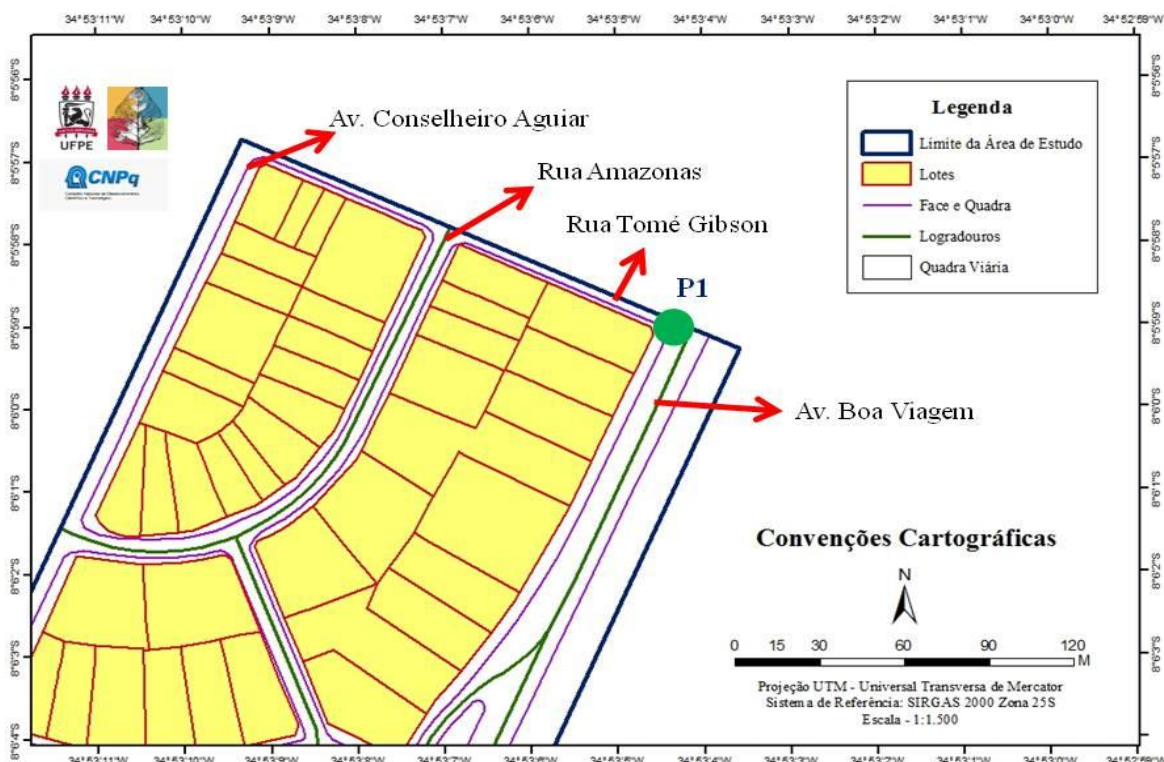
Oke (1987), *citado por* Oliveira (2012), apresenta valores médios de albedo para diversos alvos. Como, por exemplo, áreas de solo exposto com variação entre 0,05 e 0,40 (influenciado principalmente pela cor do solo e pela quantidade de umidade), áreas urbanas com variação entre 0,16 e 0,27 e água, variando entre 0,03 e 0,10.

Gomes (2011), em estudo realizado na Região Metropolitana de Brasília – DF através de imagens TM do satélite Landsat nos anos de 1987, 1992, 1997, 2003, 2008 e 2011, encontrou valores de albedo variando entre 0,15 e 0,25 para a zona urbana, 0,11 a 0,20 para as áreas de vegetação e inferiores a 0,10 para os corpos hídricos.

4.3. Pontos de Medição

O ponto de medição P1 corresponde ao cruzamento da Rua Tomé Gibson com a Avenida Boa Viagem, conforme a figura 44. Quando observado o entorno ao ponto de medição, é notória a concentração de edifícios elevados, destinados ao uso residencial multifamiliar. Ademais, a Avenida Boa Viagem, que margeia o oceano atlântico, apresenta grande fluxo de veículos e de pedestres, sendo uma das principais vias do bairro.

FIGURA 44. Localização do Ponto de Medição P1, no cruzamento da Rua Tomé Gibson com a Av. Boa Viagem.



Fonte: ESIG (Adaptado pelo autor)

Apesar da Lei do Uso e Ocupação do Solo, Lei Municipal N° 16.176/96, incentivar o aumento de edificações na área, tornando-a uma Zona de Urbanização Preferencial (ZUP 1), a cobertura vegetal na Avenida Boa Viagem é bastante expressiva, quando comparado a outros recintos urbanos, como as Ruas Tomé Gibson, Frei Leandro e Av. Conselheiro Aguiar. A vegetação é formada principalmente por restingas, gramíneas e palmeiras, situadas na faixa de areia da praia. Além desses ecossistemas, há presença de arvoredos de médio e grande porte.

Para Freitas (2008), a influência da orla oceânica na Av. Boa Viagem permite a caracterização de um “clima natural”, diferenciando-a de outros recintos urbanos bem próximos, como a Avenida Conselheiro Aguiar. O mesmo autor classificou a área de “*clima tropical quente e úmido da orla recifense, em área de urbanização compacta, verticalizada e com alto acúmulo de calor*” (FREITAS, 2008 p.225).

FIGURA 45. Imagens do entorno ao Ponto de Medição P1. É possível observar a concentração de edifícios alto, destinados ao uso residencial multifamiliar.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

No ponto P1, devido à proximidade com o litoral, é possível observar uma forte ventilação. Considerando os três dias de análise, a velocidade média do vento foi de 1,7 e 2,3 m/s para o período da manhã e tarde respectivamente, conforme indicação nas tabelas 5 e 6. A forte ventilação ocasiona a diminuição da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar.

Ao comparar a média dos dados de temperatura do ar no ponto P1 (29,7°C) com a média de temperatura da Estação Meteorológica Convencional do INMET (24,3°C) no período matutino, é perceptível o aumento de 5,4°C em P1, tendo em vista que os efeitos do acúmulo de calor em área de elevada densidade de construção, mínimo espaçamento entre as edificações, intensa impermeabilidade do solo urbano e grande fluxo de veículos.

Entretanto, no período da tarde, o ponto P1 registra uma temperatura de 31,3°C. Por sua vez, a Estação INMET apresenta uma temperatura de 30,1°C. Portanto houve uma diminuição na amplitude térmica de 1,2°C, conforme demonstra a tabela 6.

TABELA 5. Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da manhã no ponto P1.

P1	Período Matutino (09h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	29,8	28,9	30,3	29,7	24,3
UR (%)	67,1	69,9	68,3	68,4	79,0
VV (m/s)	2,0	1,7	1,5	1,7	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

De acordo com as medições de campo, a média da temperatura do ar, para os três dias, foi de 29,7°C, pela manhã e 31,3°C à tarde. Em se tratando da umidade relativa do ar foi registrado um valor médio de 68,4% e 62,9%, respectivamente para os períodos matutino e vespertino, conforme observado nas tabelas 5 e 6.

TABELA 6. Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da tarde no ponto P1.

P1	Período Vespertino (15h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	30,7	31,5	31,8	31,3	30,1
UR (%)	64,3	62,1	62,3	62,9	54,3
VV (m/s)	2,6	1,8	2,4	2,3	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

No entanto, a disposição dos edifícios, a diversidade de alturas nas edificações e o espaçamento dos volumes edificadas na Av. Boa viagem e nas quadras adjacentes, dificultam a permeabilidade dos ventos alísios de sudeste, no tecido urbano, em direção ao interior do bairro, formando assim barreiras à passagem da brisa marítima. Devido a isto, o ponto P1 é

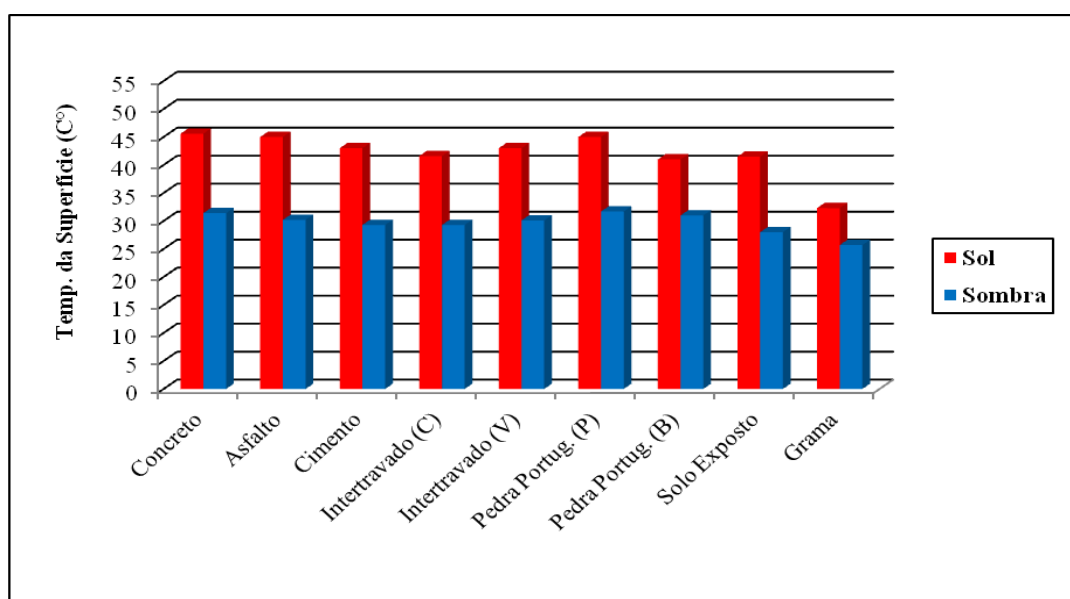
caracterizado pela constante exposição aos ventos alísios de sudeste, caracterizando um microclima de amenidades térmicas.

TABELA 7. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período matutino, encontrados no entorno ao ponto P1.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	45,2	30,3	45,6	29,7	45,8	34,3	45,6	31,4
2. Asfalto	45,3	28,9	44,9	29,9	44,7	31,9	45,0	30,2
3. Cimento	43,7	26,5	42,7	27,6	42,5	29,2	43,0	29,3
4. Intertravado (C)	41,2	27,4	41,6	29,8	42,0	30,7	41,6	29,3
5. Intertravado (V)	43,5	28,7	41,8	30,3	43,8	31,3	43,0	30,1
6. Pedra Portug. (P)	44,1	31,3	44,4	30,4	46,6	33,4	45,0	31,7
7. Pedra Portug. (B)	43,0	31,6	41,1	32,6	39,1	28,6	41,0	31,0
8. Solo Exposto	40,1	26,8	43,2	27,4	41,2	29,4	41,5	28,0
9. Grama	33,6	26,2	32,6	25,8	30,6	25,2	32,3	25,7

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 46. Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P1, no período matutino.



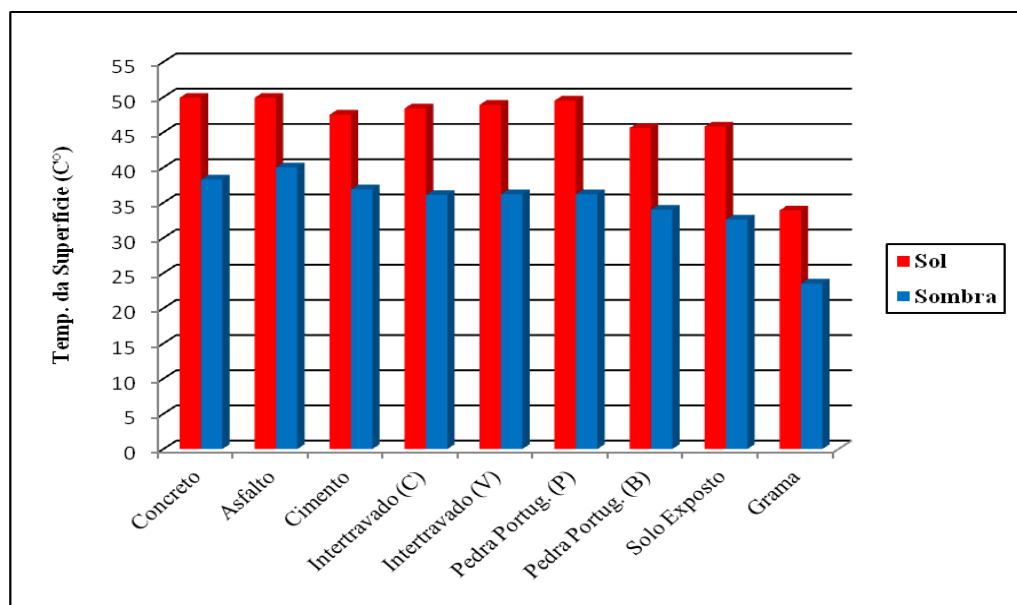
Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 8. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período vespertino, encontrados no entorno ao ponto P1.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	49,4	39,1	48,8	37,6	51,4	38,3	49,9	38,3
2. Asfalto	50,1	40,3	49,0	39,7	50,7	39,9	49,9	40,0
3. Cimento	46,8	38,2	47,4	37,2	48,4	35,2	47,5	36,9
4. Intertravado (C)	48,5	39,6	47,8	38,1	49,0	30,7	48,4	36,1
5. Intertravado (V)	48,9	40,1	48,2	36,3	49,6	32,3	48,9	36,2
6. Pedra Portug. (P)	49,2	37,5	48,7	37,9	50,6	33,4	49,5	36,2
7. Pedra Portug. (B)	45,6	36,5	44,3	35,7	46,8	29,6	45,6	34,0
8. Solo Exposto	46,7	32,3	45,4	36,0	45,3	29,4	45,8	32,6
9. Grama	34,2	22,4	33,8	22,8	33,6	25,2	33,9	23,5

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 47. Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P1, no período vespertino.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Quando se análise os dados nas tabelas 7 e 8, e com o auxílio dos gráficos nas figuras 46 e 47 é possível depreender os tipos de materiais que obtiveram as maiores médias de Temperatura da Superfície (T_s) no recinto correspondente ao ponto P1. O concreto, por exemplo, registrou uma média de T_s $45,6^{\circ}\text{C}$ ao sol, durante o turno da manhã e $49,9^{\circ}\text{C}$ também ao sol, no turno da tarde. Este material computou a segunda maior média de temperatura ($31,4^{\circ}\text{C}$) à sombra, pela manhã. Já para o período vespertino o concreto apurou uma média de $38,3^{\circ}\text{C}$ também a sombra.

O Concreto de Cimento Portland, ou simplesmente concreto, é uma mistura de aglutinantes (cimento feito de calcário e argila), areias e agregados (PETRUCCI, 1998). O concreto é um dos materiais de construção civil mais utilizado no mundo. Sua aplicabilidade é bem ampla, sendo utilizado para revestir quaisquer tipos de estradas, logradouros, passeios urbano e outras áreas pavimentadas. Para Ribeiro et al. (2011), o planejamento para a execução de estradas e rodovias, assim como o estudo preliminar para o tráfego de veículos são critérios, que visam determinar os tipos de materiais agregados à base de concreto, assim como a sua espessura.

Em razão da propriedade térmica da capacidade calorífica, o concreto possui alta capacidade de absorção e retenção de calor em seu interior, pois em sua constituição, há presença de cimento (calcário e argila), agregados, e materiais como areia, cascalho e pedras.

FIGURA 48. Imagem da Av. Boa Viagem próximo à praça do 1ª Jardim. Nota-se o revestimento de concreto na via, que foi utilizado como amostra para análise da temperatura.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Estes materiais permitem o aumento do calor por hidratação, ocasionando reações químicas entre o cimento e a água. A energia térmica, quando liberada, contribui para o aumento da temperatura do ar (SHACKELFORD, 2008).

A amostra da superfície de concreto corresponde a um trecho da Av. Boa Viagem, conforme figura 48. Esta via tem por características, o intenso fluxo de veículos principalmente em dias úteis, o que contribui para o continuo desgaste do material e a permanência dos altos índices de temperatura da superfície.

Através das observações nas tabelas 7 e 8, e analisando os gráficos das figuras 46 e 47, é possível perceber a participação do asfalto como um dos materiais de elevada temperatura da superfície. O pavimento asfáltico registrou uma média de temperatura ao sol de 45,0°C, para o turno da manhã e 49,9°C para o turno da tarde. Este material também registrou a terceira maior média de temperatura à sombra (30,2°C).

O Concreto de Cimento Asfáltico, conhecido apenas por asfalto, é composto por agregados ou pedras unidos por aglutinante asfáltico (PETRUCCI, 1998). O asfalto, assim como o concreto, possui alta capacidade calorífica, acumulando calor durante o dia e liberando à noite. Assim, as massas de ar adjacentes a superfície são aquecidas, aumentando a temperatura do ar e consequentemente o desconforto térmico, o consumo de água energia elétrica nas cidades.

Os pavimentos asfálticos são mais comuns em áreas urbanas, ao passo que o concreto é mais utilizado em rodovias. Isso se deve, em parte, a necessidade que as estradas possuem para suportar cargas mais pesadas. O asfalto é um material de fácil instalação se comparado com o concreto, também oferece custos mais baixos. No entanto o concreto possui maior durabilidade, suporta maiores cargas de tráfego e necessita de menos manutenção (Packard, 1994). A amostra do revestimento asfáltico corresponde a um trecho da rua próxima a praça do 1º Jardim de Boa Viagem, conforme figura 49.

O cimento apurou uma média de T_s 43,0°C ao sol, durante o período matutino e 47,5°C também ao sol, no período vespertino. Este material também registrou uma média de temperatura (29,3°C) à sombra, pela manhã.

Já para o turno da tarde o cimento registrou uma média de 36,9°C também a sombra. A medição de temperatura da superfície sobre o cimento se deu não pelo material isoladamente, mas pela mistura do cimento com outros materiais de naturezas diversas como a areia, pedra, cal, entre outros. O cimento é o componente básico do concreto.

FIGURA 49. Imagem de um voluntário medindo superfície coberta por asfalto, na sombra, próximo à praça do 1ª Jardim de Boa Viagem.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Além disso, Ribeiro et al. (2011) elucida o processo químico da formação do cimento, onde o calcário é aquecido em altas temperaturas, juntamente com a argila e areia. Uma reação química, chamada calcinação, ocorre durante o aquecimento e separa o calcário em cal e dióxido de carbono (RIBEIRO et al. 2011). A queima de combustíveis fósseis para gerar essa energia produz uma quantidade significativa de poluição. Portanto, o alto consumo de energia e a produção de CO² vêm da fabricação do cimento, gerando alto impacto ambiental.

O piso intertravado são blocos de concreto pré-fabricados, que se interligam formando diferentes desenhos (GARTLAND, 2010). Blocos segmentados são feitos para suportar grandes cargas, uma vez que o formato intertravado ajuda a distribuir os esforços pelos blocos.

Nos pavimentos de concreto utilizados em revestimento de ruas e avenidas para o tráfego de veículos, como no caso da Av. Boa Viagem, a uniformidade e maior extensão dos blocos tende a armazenar mais calor em seu interior, ao passo que os blocos de concreto intertravado permitem acúmulo de calor por elemento.

Isto ocorre porque entre os blocos existem espaços que canalizam a energia térmica, distribuindo-a por uma área maior do sistema, facilitando a condutividade térmica do material. Os blocos de concreto intertravado possuem uma elevada capacidade de drenagem e

armazenamento de água, tornando-se um pavimento tipicamente permeável, quando se compara a revestimentos de asfalto ou cimento.

FIGURA 50. Imagem de um banco feito de cimento na orla da praia de Boa Viagem.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Eles são geralmente coloridos, deste modo, os blocos intertravados podem apresentar grande variação nos valores de albedo a depender da cor do material. No recinto urbano em estudo, no período matutino, o intertravado vermelho apresentou média de T_s 43,0°C ao sol. Já o intertravado cinza registrou uma média de 41,6°C, ou seja, 1,4°C a menos que o intertravado vermelho. Sendo assim, é perceptível a influência da coloração dos materiais nos seus valores de temperatura de superfície. Isto também é notável quando se analisa a interferência das cores nas pedras portuguesas.

As pedras portuguesas possuem composição de calcário, com alta condutividade térmica, ou seja, capacidade de conduzir a energia térmica para seu interior (RIBEIRO et al. 2011). As pedras portuguesas possuem diversas aplicações, sendo amplamente utilizada para pavimentação de calçadas, passeios públicos, estacionamentos em via pública, praças, parques, áreas de acesso a loteamentos e condomínios e em diversas outras áreas.

FIGURA 51. Calçada revestida por blocos de concreto intertravados, de várias colorações, na orla da praia de Boa Viagem.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

No recinto urbano em estudo, no período da tarde, as pedras portuguesas de cor branca apresentaram média de T_s 45,6°C ao sol. Já as pedras portuguesas de cor preta apurou uma média de 49,5°C, ou seja, 3,9°C a mais que as pedras portuguesas brancas. Portanto, a coloração dos materiais é uma propriedade fundamental nos valores de albedo e índices de temperatura da superfície dos materiais de construção.

Quando comparado a outras superfícies, os materiais cerâmicos apresentam uma quantidade ínfima de área revestida. Em relação à presente pesquisa, apenas na praça do 1º jardim de Boa Viagem foram encontrados tijolos para pavimentação, em quantidade bastante reduzida, o que motivou a exclusão dos materiais cerâmicos do estudo, tendo em vista, sua esporádica utilização nos espaços públicos. Entretanto, os materiais cerâmicos apresentam baixa condutibilidade térmica e elevada resistência ao calor e ao desgaste físico.

Entre os materiais cerâmicos para revestimento de passeios, destacam-se os ladrilhos cerâmicos constituídos de argilas especiais, prensadas e submetidas a altas temperaturas. Com diferentes formas e dimensões, além de cores variadas, os ladrilhos cerâmicos são assentados sobre uma camada de argamassa de cimento pulverizado com espessura de 2 a 3 cm. Após o assentamento, os ladrilhos devem ser umedecidos e batidos. São bastante recomendáveis para

passeios públicos (MASCARÓ et al. 2008). Fica evidente a necessidade de estudos abordando a viabilidade dos materiais cerâmicos para pavimentação de passeios urbanos.

FIGURA 52. Passeio urbano revestido com pedras portuguesas brancas e pretas, próximo à praça do 1ª Jardim de Boa Viagem. As pedras portuguesas são comuns em outras capitais brasileiras como Rio de Janeiro e São Paulo.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

A superfície caracterizada como solo exposto, constituída por areia, apresentou T_s 41,5°C ao sol, durante o período matutino e 45,8°C também ao sol, no turno da tarde. A areia possui grande capacidade de absorção da radiação solar, sendo quente durante o dia e fria durante a noite. Asaeda et al. (1996) observou os solos expostos, sem qualquer tipo de revestimento, e descobriu que o fluxo de calor no solo depende, em grande parte, do seu teor de água. Solos úmidos transferiram menos calor para o ar, amenizando as temperaturas da camada de ar subjacente ao solo. Enquanto que os solos secos emitiram mais calor para o ar, aumentando sua temperatura.

O solo, ao contrário da água, permite uma maior variação de temperatura da superfície, sua amplitude térmica é maior. Enquanto os oceanos demoram mais para se aquecer e também para resfriar-se, os continentes se aquecem e resfriam-se mais rapidamente ao longo do dia. Por se tratar de um recinto urbano situado na orla da praia de Boa Viagem é comum a presença de areia.

Contudo, sua presença nos demais recintos urbanos torna-se deveras reduzida se comparado a outros tipos de superfície, o que demonstra a intensa impermeabilização do solo na área de estudo. Convém salientar, que a utilização de areia nas calçadas e passeios públicos não é recomendada devido à característica de sedimentos inconsolidados e de sua natureza granular, gerando obstáculos para a locomoção dos usuários.

A grama registrou uma média de T_s 32,6°C ao sol, durante o turno da manhã e 33,9°C também ao sol, no turno da tarde. Segundo Romero (2000), a temperatura sobre uma superfície de grama, em dias ensolarados de verão, fica reduzida entre 5°C a 7°C em relação à superfície impermeável construída.

A grama, além de outras superfícies de biomassa, com vegetação de porte arbóreo e arbustivo, presente no recinto urbano em estudo, apresentaram os menores valores de temperatura da superfície. Muito além de desempenhar apenas um papel estético na composição urbana, a vegetação possui inúmeras funções que podem contribuir de maneira efetiva na promoção e melhoria da qualidade ambiental das cidades.

FIGURA 53. Solo coberto por grama e vegetação arbustiva e arbórea na praça do 1ª Jardim de Boa Viagem. A vegetação ameniza as altas temperaturas e aumentam a umidade do ar, em ambiente urbanos.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Podemos citar como exemplo, o processo de evapotranspiração. A vegetação ao absorver água pelas suas raízes utiliza a radiação solar para evaporar a água armazenada, evitando que a energia solar seja usada para aquecer a cidade. Através da fotossíntese, a planta remove o CO₂ da atmosfera e em contrapartida libera vapor de água, tornando o ambiente mais úmido. *“As temperaturas do ar ao redor e a sotavento de áreas bem vegetadas são mais frescas por causa da evapotranspiração”* (GARTLAND, 2010 p136).

Deste modo, as superfícies com vegetação herbácea, sobretudo as gramadas, sempre que possível, devem substituir as pavimentadas, para reduzir a absorção da radiação solar e a reflexão sobre as superfícies construídas. Entretanto, a grama apresenta maior necessidade de manutenção e custos, no entanto, sua utilização influencia diretamente na amenização da temperatura local, já que aumenta a umidade, diminuindo a temperatura, bem como o solo permeável no qual está assentada possibilita a infiltração das águas pluviais (CARVALHO, 2001).

TABELA 9. Síntese das variáveis climáticas e média da temperatura da superfície nos materiais, encontrados no recinto urbano correspondente ao ponto P1, nos turnos manhã e tarde.

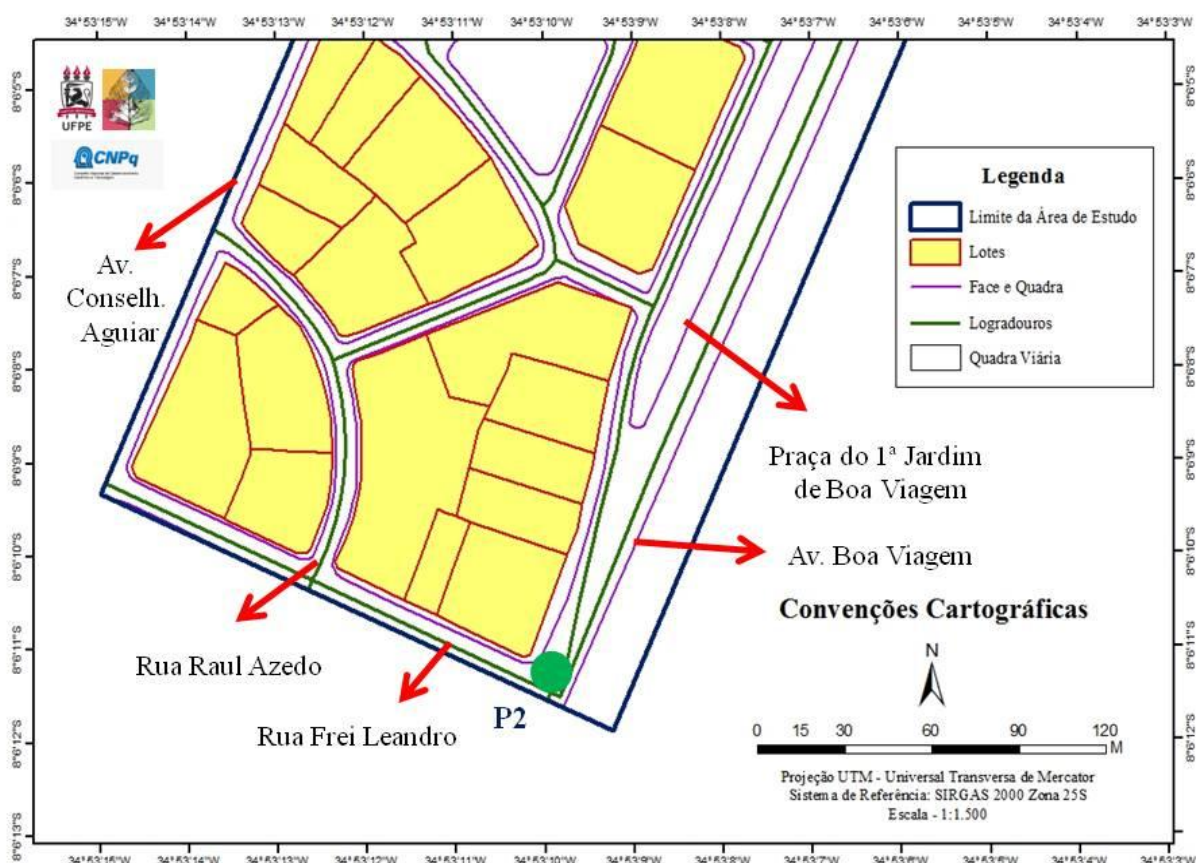
Variáveis Climáticas	Manhã		Tarde	
TA (°C)	29,7		31,3	
UR (%)	68,4		62,9	
VV (m/s)	1,7		2,3	
DV (N)	L/SE		L/SE	
Materiais TS (°C)	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	45,6	31,4	49,9	38,3
2. Asfalto	45,0	30,2	49,9	40,0
3. Cimento	43,0	29,3	47,5	36,9
4. Intertravado (C)	41,6	29,3	48,4	36,1
5. Intertravado (V)	43,0	30,1	48,9	36,2
6. Pedra Portug. (P)	45,0	31,7	49,5	36,2
7. Pedra Portug. (B)	41,0	31,0	45,6	34,0
8. Solo Exposto	41,5	28,0	45,8	32,6
9. Grama	32,3	25,7	33,9	23,5

O ponto de medição P2 corresponde ao cruzamento da Av. Boa Viagem com a Rua Frei Leandro, conforme figura 54. No entorno ao Ponto P2 é possível observar a predominância de edifícios elevados, de uso residencial multifamiliar.

No entanto, no deslocamento em direção ao interior do bairro, nas quadras próximas à Avenida Conselheiro Aguiar, verifica-se o uso misto em edifícios de baixa e média altura. Nesses edifícios é comum o pavimento térreo abrigar o uso comercial, e os pavimentos superiores são destinados a unidades habitacionais multifamiliar.

O ponto P2 possui características de uso e ocupação do solo bem semelhante ao ponto P1, pois ambos estão situados na mesma Avenida Boa Viagem, mas precisamente no cruzamento desta com ruas perpendiculares a orla da praia. A Rua Frei Leandro possui aproximadamente 11 metros de largura, com edifícios de pequena e média altura.

FIGURA 54. Localização do Ponto de Medição P2, no cruzamento da Av. Boa Viagem com a Rua Frei Leandro.



Fonte: ESIG, (Adaptado pelo autor)

Durante a pesquisa de campo, não foi possível realizar medições de temperaturas em superfícies cobertas por solo exposto, gramas e blocos de concreto intertravado em sua cor vermelha, pois amostras desses materiais não foram encontradas no recinto urbano.

Comparando a média de temperatura do ar em P2 (30,8°C) com a temperatura da Estação Meteorológica Convencional do INMET (24,3°C), para o turno da manhã, conforme demonstra a tabela 10, é perceptível um aumento de 6,5°C no ponto P2.

Entretanto, no período vespertino o ponto P2 apresenta uma temperatura de 31,6°C, já a Estação do INMET registrou 30,1°C, amplitude térmica diminui para 1,5°C, conforme demonstra a tabela 11. Em se tratando de umidade relativa do ar, mesmo o ponto P2 situado muito próximo a orla oceânica, sua umidade foi de 58,1% ao passo que na Estação do INMET foi registrado 79,0%.

FIGURA 55. Imagens do entorno ao Ponto de Medição P2. Neste ponto, é possível notar edifícios de médio e baixo gabarito a medida que se aproxima da Av. Conselheiro Aguiar.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Esses dados são justificados, pois a Estação do INMET está localizada próxima a um fragmento de mata atlântica no bairro do Curado, enquanto que o ponto P2, apesar de situado próximo a orla da praia de Boa Viagem, está sob a influência de uma área de elevada densidade de construção, verticalizada, mínimo espaçamento entre as edificações, intensa impermeabilidade do solo urbano e grande fluxo de veículos.

A Rua Frei Leandro funciona como uma passagem aos ventos alísios de sudeste, canalizando a brisa marítima para o interior do bairro. Considerando os três dias de análise, a velocidade média do vento foi de 2,0 e 2,1 m/s para o período da manhã e tarde respectivamente, conforme indicação nas tabelas 10 e 11. A média da temperatura do ar, para os três dias, foram 33,5°C, pela manhã e 32,2 à tarde. Com relação à umidade relativa do ar foi registrado um valor médio de 56,6% e 58,4%, respectivamente para os períodos matutino e vespertino, conforme observado na tabela 10 e 11.

TABELA 10. Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da manhã no ponto P2.

Recinto 2	Período Matutino (09h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	30,5	31,2	30,8	30,8	24,3
UR (%)	58,5	57,2	58,7	58,1	79,0
VV (m/s)	1,7	1,9	2,4	2,0	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Analizando os dados contidos nas tabelas 12 e 13 e com o auxílio dos gráficos nas figuras 56 e 55 é possível perceber os tipos de revestimentos que obtiveram as maiores médias de Temperatura da Superfície (Ts) no recinto urbano correspondente ao ponto P2. O concreto registrou uma média de Ts 47,1°C ao sol, durante o turno da manhã e 47,9°C também ao sol, no turno da tarde. O concreto possui uma cor cinza-claro logo após sua instalação em pavimentos urbanos. Os valores de albedo geralmente variam entre 30% e 40% (GARTLAND, 2010).

TABELA 11. Média das variáveis climáticas e dados da Estação Convencional para o turno da tarde no ponto P2.

Recinto 2	Período Vespertino (15h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	31,8	32,1	31,1	31,6	30,1
UR (%)	54,2	59,3	61,8	58,4	54,3
VV (m/s)	1,8	2,1	2,3	2,1	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 12. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período matutino, encontrados no entorno ao ponto P2.

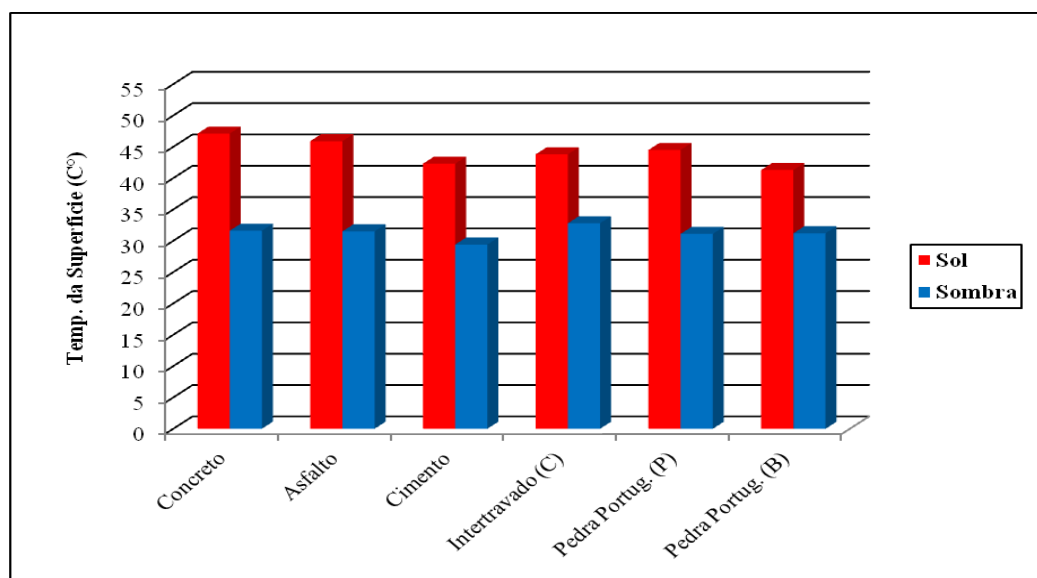
MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	46,5	31,8	47,8	32,0	47,0	31,0	47,1	31,6
2. Asfalto	47,8	29,9	46,4	32,5	43,4	32,1	45,9	31,5
3. Cimento	43,7	31,5	40,9	28,8	42,3	27,8	42,3	29,4
4. Intertravado (C)	45,1	28,9	42,2	34,3	44,2	35,3	43,8	32,8
5. Pedra Portug. (P)	45,0	32,6	43,6	28,8	45,6	31,8	44,5	31,1
6. Pedra Portug. (B)	42,2	31,5	39,8	30,4	41,8	28,6	41,3	31,2

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Entretanto, com o passar do tempo, o concreto acumula partículas sólidas, tornando-se mais sujo. Em consonância a isto, os valores médios de albedo diminuem, ficando entre 25% e 35%. “*Os pavimentos de concreto se mantêm mais frescos do que o asfalto,*

geralmente abaixo de 50°C mesmos nos dias mais quentes e ensolarados” (GARTLAND, 2010 p.61).

FIGURA 56. Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P2, no turno da manhã.



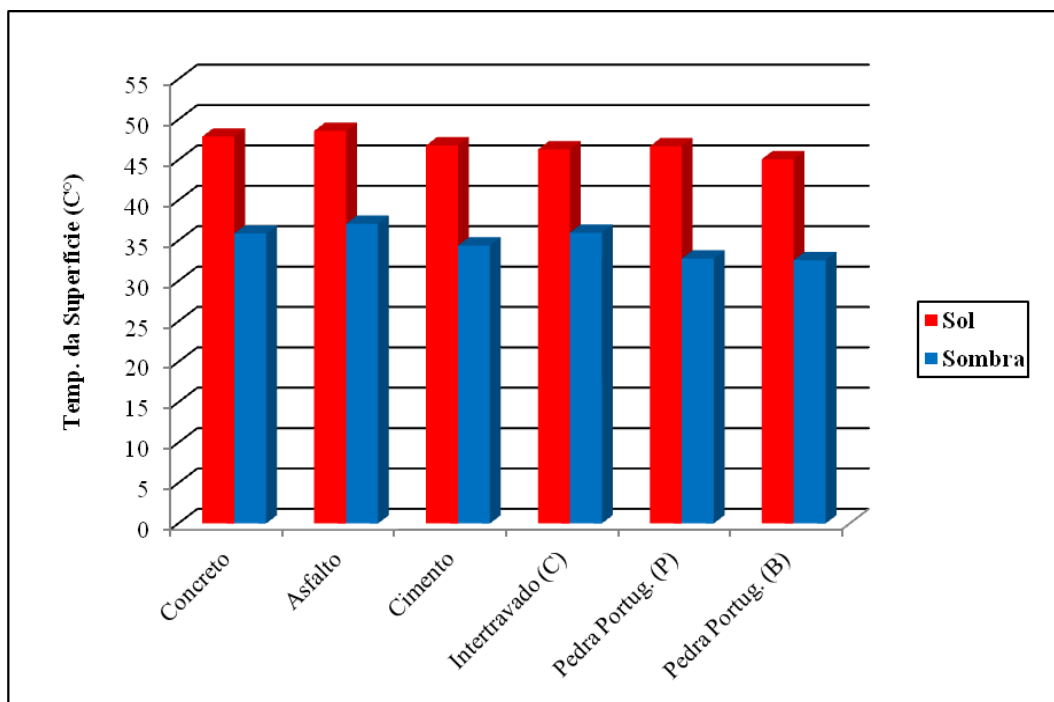
Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 13. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da tarde, encontrados no entorno ao ponto P2.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	49,4	35,2	48,3	35,0	46,1	37,4	47,9	35,9
2. Asfalto	50,8	36,9	47,9	36,3	47,2	38,1	48,6	37,1
3. Cimento	47,6	34,1	44,7	35,0	48,2	35,0	46,8	34,4
4. Intertravado (C)	47,2	36,9	43,5	34,7	48,3	36,5	46,3	36,0
5. Pedra Portug. (P)	46,5	35,7	43,1	33,5	50,4	29,1	46,7	32,8
6. Pedra Portug. (B)	43,1	32,6	42,1	32,4	50,2	32,8	45,1	32,6

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 57. Gráfico da média de temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P2, no turno da tarde.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

O pavimento asfáltico apresentou uma média de temperatura ao sol de 45,9°C, para o turno da manhã e 48,6°C para o turno da tarde. O aglutinante asfáltico apresenta uma coloração preta ou cinza, o que significa maior absorção da radiação solar e índices de albedos inferiores a 10% (GARTLAND, 2010). Com o decorrer do tempo o asfalto vai clareando e o seu albedo aumenta, geralmente variando entre 10 e 20%.

Os materiais de revestimento tradicionais, normalmente encontrados em recintos urbanos na cidade do Recife-PE, sobretudo no bairro de Boa Viagem, apresentam coloração escura com altos índices de temperatura da superfície.

Uma vez que a coloração exerce maior efeito sobre os valores de albedo, os materiais de cores mais claras são normalmente os mais frios. Portanto, resfriar um material de revestimento significa torna-lo mais claro em sua coloração, aumentando os valores de albedo da superfície. Para isto, é necessário utilizar ingredientes de cores mais claras em sua composição (RIBEIRO et al. 2011). Para Gartland (2010 p.105) *“Pavimentos com refletância solar de moderados 25% ou mais podem ser considerados frescos”*.

Superfícies revestidas por concreto podem ser resfriadas com a utilização de agregados e aglutinantes de cimento que possuem cores mais claras. Testes com concretos

especialmente clareados em laboratório mediram valores de albedo de até 80% (LEVINSON & AKBARI, 2001). Pigmentos mais claros podem ser adicionados à mistura de asfalto ou agregados de coloração mais clara (pedras na mistura para pavimentos) ou areia podem ser adicionados. Essas medidas podem aumentar o albedo do material em até 30% (CARTWRIGHT, 1998).

FIGURA 58. Superfície revestida por cimento na calçada da rua Frei Leandro. Este material continuou liberando calor após o por do sol.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

O cimento registrou uma média de T_s 42,3°C ao sol, durante o turno da manhã e 46,8°C também ao sol, no turno da tarde. Este material também registrou uma média de temperatura (29,4°C) à sombra, pela manhã. Já para o turno da tarde o cimento registrou uma média de 34,4°C também a sombra. A cor cinza-escuro do cimento permite maior absorção da radiação solar, armazenando a energia térmica em seu interior. De acordo com a análise do material em campo, é possível observar a liberação de calor após o por do sol.

No recinto urbano em estudo, no período matutino, as pedras portuguesas de coloração branca apresentaram uma média de T_s 41,3°C ao sol. Já a pedra portuguesa preta registrou uma média de 44,5°C, ou seja, 3,2°C a mais que a pedra portuguesa branca. Novamente, pode-se verificar a influência da cor dos materiais nos seus valores de

temperatura da superfície. Considerando o período vespertino a diferença diminui e a amplitude térmica é de 1,6°C.

Recomenda-se a utilização das pedras portuguesas, sobretudo, as pedras de cores brancas. No entanto, o contraste entre o branco e o preto possibilita a criação de desenhos artísticos, sendo utilizada em calçamento decorativo, como nas famosas calçadas da praia de Copacabana no Rio de Janeiro - RJ. Por isso, sua utilização em revestimentos de passeios públicos, calçadas e praças são bastante comuns, sobretudo na cidade do Recife.

TABELA 14. Síntese das médias das variáveis climáticas e da temperatura da superfície dos materiais, encontrados no entorno ao ponto P2, nos períodos matutino e vespertino.

Variáveis Climáticas	Manhã		Tarde	
TA (°C)	30,8		31,6	
UR (%)	58,1		58,4	
VV (m/s)	2,0		2,1	
DV (N)	L/SE		L/SE	
Materiais TS (°C)	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	47,1	31,6	47,9	35,9
2. Asfalto	45,9	31,5	48,6	37,1
3. Cimento	42,3	29,4	46,8	34,4
4. Intertravado (C)	43,8	32,8	46,3	36,0
5. Pedra Portug. (P)	44,5	31,1	46,7	32,8
6. Pedra Portug. (B)	41,3	31,2	45,1	32,6

Fonte: Macedo, R.X (2015)

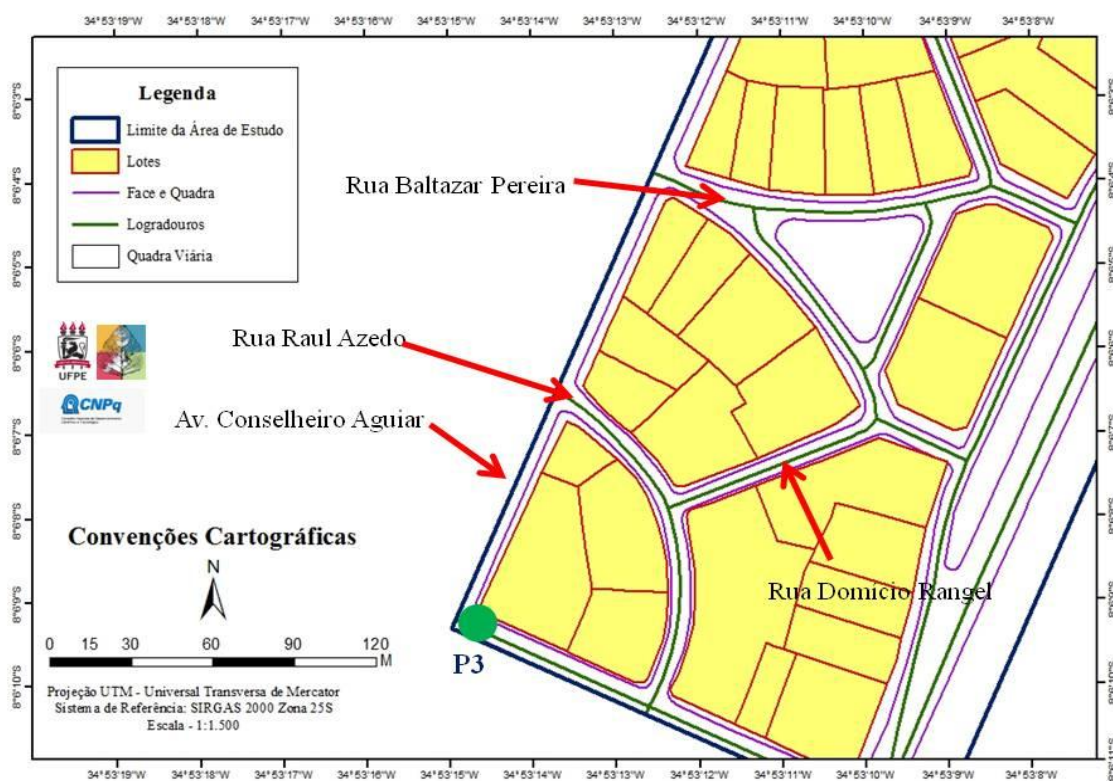
Quando se análise os dados na tabela 14 é possível perceber que a pedra portuguesa branca registrou a menor temperatura de superfície ao sol (41,3°C e 45,1°C manhã e tarde respectivamente) no recinto urbano em estudo (entorno ao ponto P2). O revestimento que obteve maior temperatura ao sol foi o concreto (47,1°C) para o turno da manhã, e o asfalto (48,6°C) para o turno da tarde.

Ao comparar a média de temperatura do ar em P3 (33,9°C) com a temperatura da Estação Meteorológica Convencional do INMET (24,3°C), para o turno da manhã, conforme

demonstra a tabela 15, é perceptível um aumento de 9,6°C no ponto P3. A amplitude térmica aumenta, pois as condições ambientais como a alta umidade e forte ventilação, características da orla da praia exercem pouca influência no recinto urbano em estudo.

Ao caminhar 155 metros do Ponto P2 em direção ao interior do bairro, encontramos o ponto P3 que corresponde ao cruzamento da Rua Frei Leandro com à Avenida Conselheiro Aguiar. Neste deslocamento a temperatura média do ar aumentou 1,5°C, a umidade relativa do ar diminuiu 1,5%, a velocidade média do ar diminuiu 0,5 m/s. Os valores supracitados correspondem ao turno da manhã, conforme tabela 15.

FIGURA 59. Localização do Ponto de Medição P3, no cruzamento da Rua Frei Leandro com a Av. Conselheiro Aguiar.



Fonte: ESIG, (Adaptado pelo autor)

Para o turno da tarde as diferenças nas variáveis climáticas foram ainda maiores. A média da temperatura do ar aumentou 2,3°C, a média da umidade relativa do ar diminuiu 2,8%, a velocidade média do vento diminuiu 0,9 m/s, conforme tabela 16. Em certos momentos, o anemômetro digital registrava valores de velocidade do vento superior a 3,0 m/s. Isto se deve ao fato da Av. Conselheiro Aguiar possuir um fluxo intenso de veículos, incluindo o transporte público de ônibus, interferindo nas medições da velocidade do vento.

“O vento nessa via carrega o calor e os poluentes produzidos pelos automóveis, coincidindo inclusive, com a direção do fluxo viário” (RUSKIN, 2008 p.230).

FIGURA 60. Imagens do entorno ao Ponto de Medição P3. A Av. Conselheiro Aguiar é uma das principais vias do bairro e possui um fluxo intenso de veículos.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

A Av. Conselheiro Aguiar exerceu grande influência nas alterações das variáveis climáticas, quando se compara com a Av. Boa Viagem. Por ser uma via amplamente impermeabilizada, com intenso tráfego de veículos, baixa umidade relativa do ar, e vegetação praticamente inexistente (salvo algumas árvores isoladas), a Av. Conselheiro Aguiar apresentou os maiores índices de temperatura do ar na área de estudo.

Com relação ao adensamento construtivo, esta via apresenta em sua massa edificada, edifícios de média e baixa altura, com pequenos afastamentos entre eles, predominância do uso comercial, pois essa via representa um importante corredor de transportes urbanos, ligando o bairro de Boa Viagem ao centro do Recife e ao bairro do Derby. Portanto, na Av.

Conselheiro Aguiar, a verticalização e a densidade construída é menor quando comparado a Av. Boa Viagem.

TABELA 15. Média dos dados climáticos referente ao turno da manhã, no ponto P3.

P3	Período Matutino (09h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	32	32,1	32,9	32,3	24,3
UR (%)	56,5	57,1	56,2	56,6	79,0
VV (m/s)	1,6	1,3	1,7	1,5	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 16. Média dos dados climáticos referente ao turno da tarde, no ponto P3.

P3	Período Vespertino (15h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	33,8	34,2	33,6	33,9	30,1
UR (%)	56,1	55,7	55	55,6	54,3
VV (m/s)	1,2	1,1	1,4	1,2	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

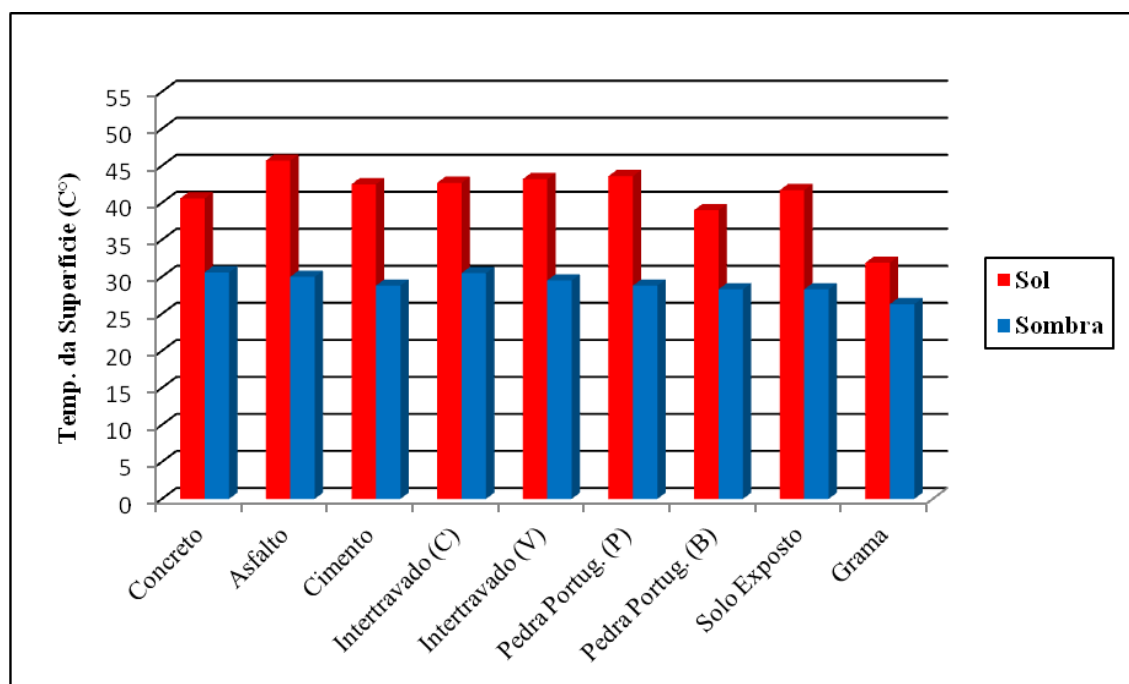
Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 17. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da manhã, encontrados no entorno ao ponto P3.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	41,8	30,7	39,4	35,1	40,8	26,1	40,6	30,6
2. Asfalto	44,4	32,1	43,9	30,1	48,4	27,7	45,7	30,0
3. Cimento	42,3	29,5	41,6	28,9	43,7	28,1	42,5	28,8
4. Intertravado (C)	44,1	29,9	41,9	35,8	42,1	25,8	42,7	30,5
5. Intertravado (V)	45,0	32,2	41,8	29,1	42,7	27,2	43,2	29,5
6. Pedra Portug. (P)	45,6	31,3	41,4	25,9	43,8	29,2	43,6	28,8
7. Pedra Portug. (B)	40,1	30,3	37,5	27,7	39,5	26,9	39,0	28,3
8. Solo Exposto	38,2	27,6	42,2	28,6	44,8	28,6	41,7	28,3
9. Grama	32,7	25,3	31,4	26,4	31,6	27,3	31,9	26,3

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 61. Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P3, no turno da manhã.



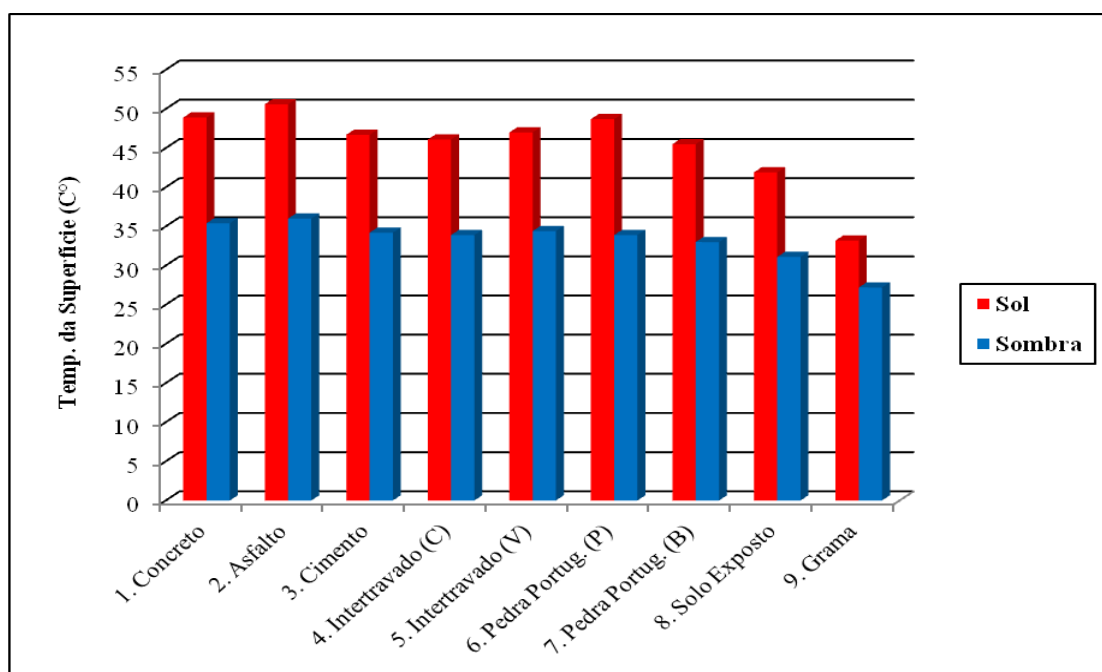
Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 18. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da tarde, encontrados no entorno ao ponto P3.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	50,3	34,6	49,1	36,2	47,4	35,3	48,9	35,4
2. Asfalto	50,8	35,9	51,1	36,6	49,8	35,5	50,6	36,0
3. Cimento	45,6	33,3	48,3	35,0	46,2	34,3	46,7	34,2
4. Intertravado (C)	46,7	33,9	47,6	34,7	43,9	33,2	46,1	33,9
5. Intertravado (V)	47,1	34,4	48,5	35,1	45,3	33,6	47,0	34,4
6. Pedra Portug. (P)	48,2	33,0	49,7	33,3	48,1	35,4	48,7	33,9
7. Pedra Portug. (B)	44,9	33,2	45,1	32,6	46,6	33,1	45,5	33,0
8. Solo Exposto	41,7	30,7	42,6	31,7	41,3	30,9	41,9	31,1
9. Grama	33,8	26,3	33,6	27,2	32,1	28,0	33,2	27,2

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 62. Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P3, no turno da tarde.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Pela análise dos dados contidos nas tabelas 17 e 18 e com o auxílio dos gráficos 61 e 62 é possível perceber os tipos de revestimentos que obtiveram as maiores e menores médias de Temperatura da Superfície (Ts) no entorno ao ponto P3.

O concreto registrou uma média de Ts 40,6°C ao sol, durante o turno da manhã e 48,9°C também ao sol, no turno da tarde. Este material também registrou média de temperatura (30,6°C) à sombra, pela manhã. Já para o turno da tarde o concreto registrou uma média de 35,4°C também a sombra.

O asfalto apresentou uma média de temperatura ao sol de 45,7°C, para o turno da manhã e 50,6°C para o turno da tarde. Este material também registrou média de temperatura (30,0°C) à sombra, pela manhã. Já para o turno da tarde o asfalto registrou uma média de 36,0°C também a sombra.

Revestimentos cobertos por concreto ou asfalto podem tornar-se permeáveis quando as partículas menores, ou finas, de areia e pedras são removidas da mistura para sua composição (BAUER et al., 2010).

Isso permite a infiltração das águas pluviais, possibilitando o escoamento por entre o revestimento e armazenando a água da chuva nas camadas e no solo abaixo dele. Nos dias ensolarados, a água armazenada irá evaporar permitindo o resfriamento do material. Para isto, é necessário remover as partículas menores, ou finas, de areia e pedras no processo de mistura e fabricação do material. Gartland (2010) afirma:

Esses pavimentos ficam então com um espaço vazio entre as pedras maiores que permitem o escoamento da água por entre os revestimentos. Os tamanhos desses pavimentos devem ser cuidadosamente analisados para evitar que sejam obstruídos por sujeira ou outros materiais (GARTLAND, 2010 p.110).

Através das tabelas 17 e 18, é possível observar que os blocos de concreto intertravados registraram uma média de Ts 43,8°C ao sol, durante o turno da manhã e 46,3°C também ao sol, no turno da tarde.

Os blocos de concretos intertravados são instalados sobre uma base de agregados convencional sobre a areia ou argamassa para fixar os blocos, pois os encaixes são justos (PETRUCCI, 1998). Geralmente, os blocos de concreto intertravados possuem uma elevada capacidade de drenagem e armazenamento de água, tornando-se um pavimento tipicamente permeável, quando se compara a revestimentos de concreto e asfalto (BAUER et al., 2010).

A água da chuva pode escorrer por entre a camada superior rígida e é armazenado no solo ou nas camadas de sustentação abaixo para ser posteriormente evaporada em dias de sol. Este fator, aliado à elevada capacidade de acessibilidade de pessoas com deficiência, torna sua utilização recomendada em detrimento de outras que apresentaram valores mais amenos (RIBEIRO et al. 2011).

FIGURA 63. Imagens de duas superfícies revestidas por blocos de concreto intertravado. Na figura à esquerda, o intertravado possui uma coloração mais clara em relação a imagem da direita. Ambos estão localizados em passeios públicos na Avenida Conselheiro Aguiar.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Durante a investigação de campo, na Av. Conselheiro Aguiar foram encontradas amostras de superfícies revestidas por um sistema de blocos de concreto pré-moldado e vazado, preenchidos por grama ou pedriscos, planejados especialmente para permitir uma maior infiltração das águas pluviais. A esse sistema dar-se diversos nomes como cobograma, piso ecológico, pisograma ou piso grama, ecobloco, entre outros (FARIAS et al. 2013).

Para Gartland (2010), diversos são os usos do cobograma, como a pavimentação de áreas externas de residências, estabelecimentos comerciais, estacionamentos de Shopping Center, passeios públicos.

O preenchimento do espaço vazado por grama possui uma vantagem adicional, pois resfria a camada de ar acima, por meio do processo da evapotranspiração, acumulando menos calor na superfície e contribuindo para redução da temperatura do ar (GARTLAND, 2010). Além disso, reduz a vazão drenada superficialmente, pela água da chuva, contribuindo para o aumento da recarga de água subterrânea, visto que, o aumento da ocorrência das enchentes

traz consigo o acréscimo da produção de lixo e a deterioração da propriedade da água. Caso os blocos forem preenchidos com pedriscos, estes deverão ter cores claras, no intuito de absorver menos radiação solar e garantir temperaturas da superfície mais amenas (GARTLAND, 2010).

FIGURA 64. Imagem de superfície revestida por blocos permeáveis. Nesta imagem a estrutura treliçada, pré-fabricada foi construída a base de concreto.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Outro ponto a ser destacado, é o uso dos cobogramas para atender a necessidade de compor a taxa de permeabilidade exigida nos dispositivos legais que regem o uso e ocupação do solo. Farias et al. (2013) percebeu que o sistema de blocos permeáveis “[...] *vem representando uma boa solução de pavimentação permeável* [...].” A mesma autora ainda afirma:

[...] no entanto, sua utilização na pavimentação não vem ocorrendo de forma satisfatória, ou seja, seguindo as orientações técnicas dos fabricantes e arquitetos quanto à instalação e manutenção, do bloco de concreto e do preenchimento vegetal, de forma a agregar todas as vantagens proporcionadas (FARIAS et al. 2013 p.09).

Durante os dias chuvosos, o solo exposto possui uma capacidade reduzida para absorver água. Se as precipitações forem intensas demais, o solo exposto tende a rapidamente ficar saturado. A chuva excedente se transforma em enchente.

Superfícies cobertas por vegetação reduzem o escoamento superficial das águas pluviais de várias maneiras. Ao captar água da chuva em suas folhas, galhos e troncos, diminuem a quantidade e a velocidade da água que atinge a superfície e, conseqüentemente, reduz o volume de água que se transforma em enchentes.

As enchentes em áreas impermeabilizadas tornam-se um grande problema quando os escoadouros, ou canaletas, não conseguem direcionar o fluxo, ou quando ocorrem enxurradas, fazendo com que muitas ruas fiquem inundadas. Em diversas localidades do município do Recife-PE, os sistemas de canalização de esgotos domésticos recebem constantemente a água proveniente das enchentes pelos escoadouros. Quando estes sistemas transbordam, o esgoto pode ser levado para as ruas.

TABELA 19. Síntese das médias das variáveis climáticas e da temperatura da superfície dos materiais, encontrados no entorno ao ponto P3, nos períodos matutino e vespertino.

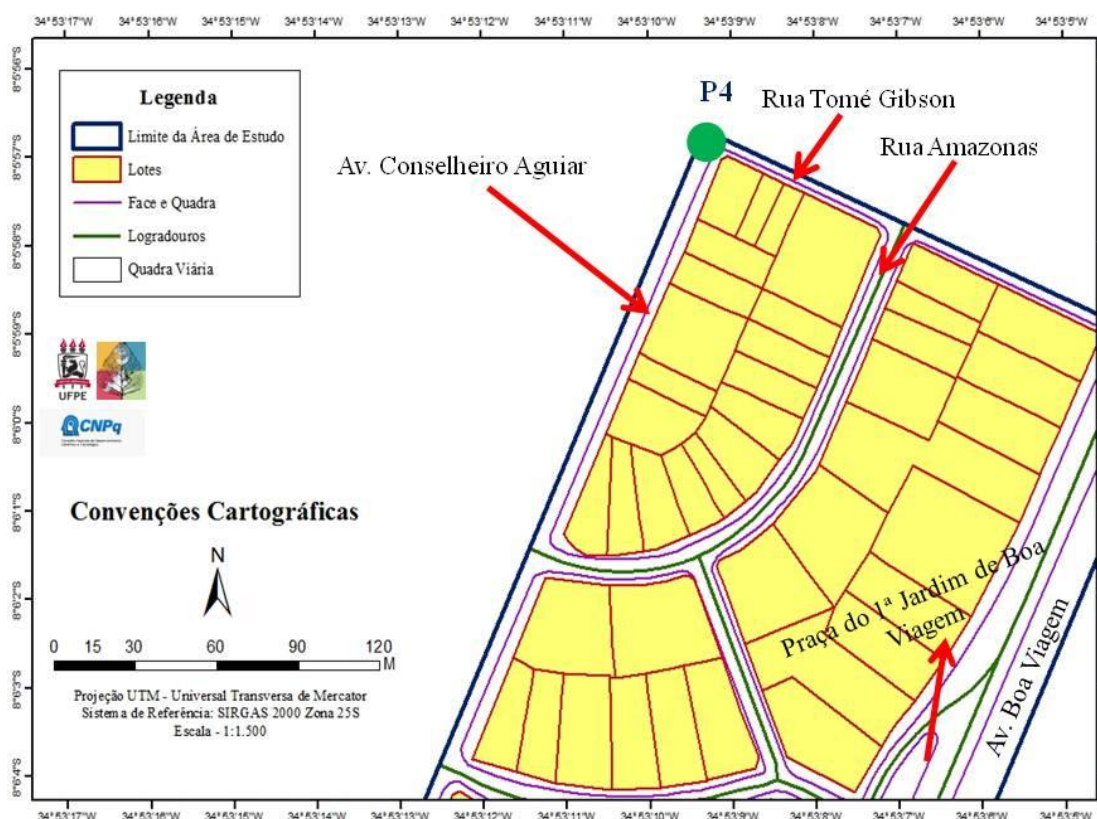
Variáveis Climáticas	Manhã		Tarde	
TA (°C)	32,3		33,9	
UR (%)	56,6		55,6	
VV (m/s)	1,5		1,2	
DV (N)	L/SE		L/SE	
Materiais TS (°C)	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	40,6	30,6	48,9	35,4
2. Asfalto	45,7	30,0	50,6	36,0
3. Cimento	42,5	28,8	46,7	34,2
4. Intertravado (C)	42,7	30,5	46,1	33,9
5. Intertravado (V)	43,2	29,5	47,0	34,4
6. Pedra Portug. (P)	43,6	28,8	48,7	33,9
7. Pedra Portug. (B)	39,0	28,3	45,5	33,0
8. Solo Exposto	41,7	28,3	41,9	31,1
9. Grama	31,9	26,3	33,2	27,2

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Através da tabela 19, é possível observar que o asfalto registrou a maior temperatura da superfície ao sol (45,7°C e 50,6°C manhã e tarde respectivamente). Dentre os materiais que obtiveram a menor temperatura da superfície destaca-se a pedra portuguesa branca (39,0°C e 45,5°C manhã e tarde respectivamente).

O Ponto de Medição P4 corresponde ao cruzamento da Av. Conselheiro Aguiar com a Rua Tomé Gibson, conforme figura 65. Observando o entorno, ao ponto de medição, é possível verificar a predominância de edifícios com média e baixa altura, com o uso misto da edificação, sendo o pavimento térreo destinado à estabelecimentos comerciais de vários tipos, e pavimentos superiores sendo utilizados como residência multifamiliar.

FIGURA 65. Localização do Ponto de Medição P4, no cruzamento da Av. Conselheiro Aguiar com a Rua Tomé Gibson.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

No entanto, ao caminhar 158 metros, aproximadamente, do ponto P4 em direção a orla da praia (ponto P1), nas quadras próximas e adjacentes à Avenida Boa Viagem, é notória a presença de edifícios de altura elevadas destinados essencialmente ao uso residencial multifamiliar.

Ainda no ponto P4, a média da temperatura do ar, para os três dias, foram 33,2°C, pela manhã e 33,4 à tarde. Com relação à umidade relativa do ar foi registrado um valor médio de 55,5% e 54,6%, respectivamente para os períodos da manhã e tarde, conforme observado nas tabelas 17 e 19.

No deslocamento do ponto P1 (orla da praia de Boa Viagem), em direção ao ponto P4 (cruzamento da Av. Conselheiro Aguiar com a Rua Tomé Gibson), a temperatura média do ar aumentou 3,5°C, a umidade relativa do ar diminuiu 12,9%, a velocidade média do ar diminuiu 0,4 m/s. Os valores citados anteriormente correspondem ao turno da manhã. Para o turno da tarde a média da temperatura do ar aumentou 2,1°C, a média da umidade relativa do ar diminuiu 8,3%, a velocidade média do vento diminuiu 1,1 m/s.

FIGURA 66. Imagens do entorno ao Ponto de Medição P4. A Rua Tomé Gibson funciona, assim como a Frei Leandro, funcionam como uma passagem da brisa marítima para o interior do bairro.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

O ponto P4 possui características de uso e ocupação do solo semelhante ao Ponto P3, pois ambos estão situados no cruzamento da Av. Conselheiro Aguiar com ruas perpendiculares a orla da praia. A Rua Tomé Gibson possui aproximadamente 12 metros de largura, é ladeada por edifícios de médio e alto gabarito.

A Rua Tomé Gibson funciona como uma passagem aos ventos alísios de sudestes, canalizando a brisa marítima para o interior do bairro. Considerando os três dias de análise, a velocidade média do vento foi de 1,3 e 1,2 m/s para o período da manhã e tarde respectivamente, conforme indicado na tabela 17 e 19. Durante a pesquisa de campo, não foi

possível realizar medições de temperaturas em superfícies constituídas de solo exposto e gramas, pois não foram encontrados amostras dessas superfícies no recinto urbano em estudo.

TABELA 20. Média dos dados climáticos referente ao turno da manhã, no ponto P4.

P4	Período Matutino (09h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	33,4	33,7	32,6	33,2	24,3
UR (%)	54,7	56,8	55,1	55,5	79,0
VV (m/s)	1,3	1,1	1,6	1,3	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 21. Média dos dados climáticos referente ao turno da tarde, no ponto P4.

P4	Período Vespertino (15h00)				
	16/jan	17/jan	18/jan	Média	Estação Convencional
TA (°C)	32,8	33,9	33,5	33,4	30,1
UR (%)	53,9	54,1	55,8	54,6	54,3
VV (m/s)	1,4	1	1,2	1,2	0,0
DV (N)	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE	L/SE

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Quando comparado a Av. Boa Viagem com a Av. Conselheiro Aguiar é notória a ausência de vegetação nesta ultima, salvo algumas árvores isoladas. Árvores em grandes quantidades e bem posicionadas produzem sombras para edifícios, superfícies e pessoas, protegendo-as da radiação solar. “[...] isso mantém superfícies mais frias, reduz o calor que é transferido para o ar acima e reduz o consumo de energia dos edifícios abaixo delas”

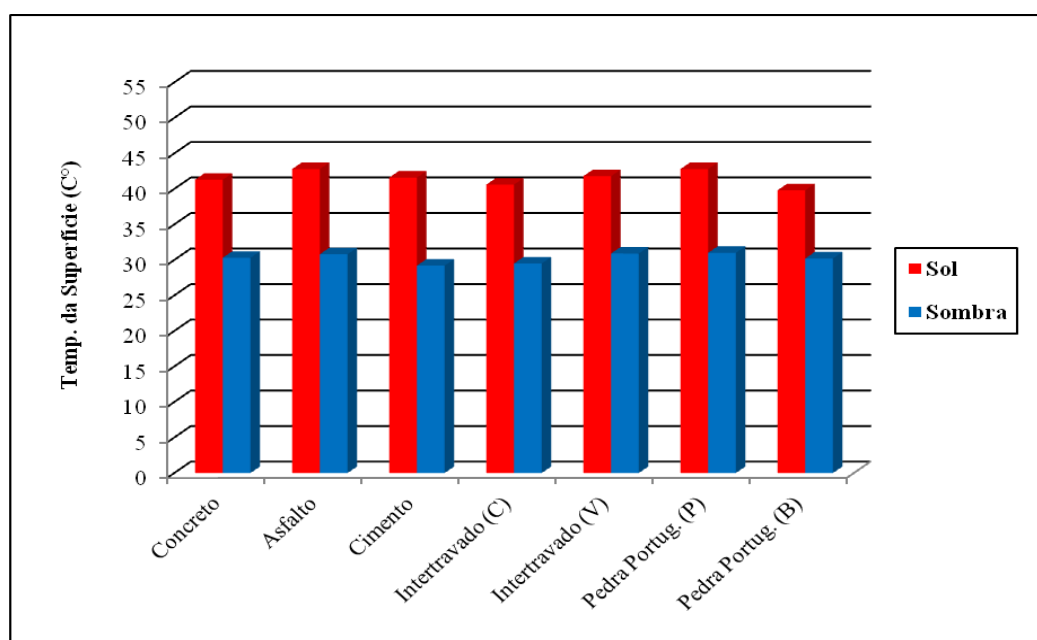
(GARTLAND, 2010 p136). O sombreamento das árvores também mantém as pessoas mais refrescadas e confortáveis.

TABELA 22. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da manhã, encontrados no entorno ao ponto P4.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	42,2	31,5	41,8	30,3	39,9	29,1	41,3	30,3
2. Asfalto	43,1	32,0	43,0	31,5	42,3	28,9	42,8	30,8
3. Cimento	42,0	30,4	40,6	29,0	42,1	28,1	41,6	29,2
4. Intertravado (C)	42,0	29,2	41,1	30,2	38,7	29,1	40,6	29,5
5. Intertravado (V)	43,6	32,8	41,9	32,0	40,0	28,0	41,8	30,9
6. Pedra Portug. (P)	44,5	31,6	42,6	30,1	41,2	30,9	42,8	31,0
7. Pedra Portug. (B)	40,8	31,5	39,8	29,5	38,8	29,7	39,8	30,2

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 67. Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P4, no turno da manhã.



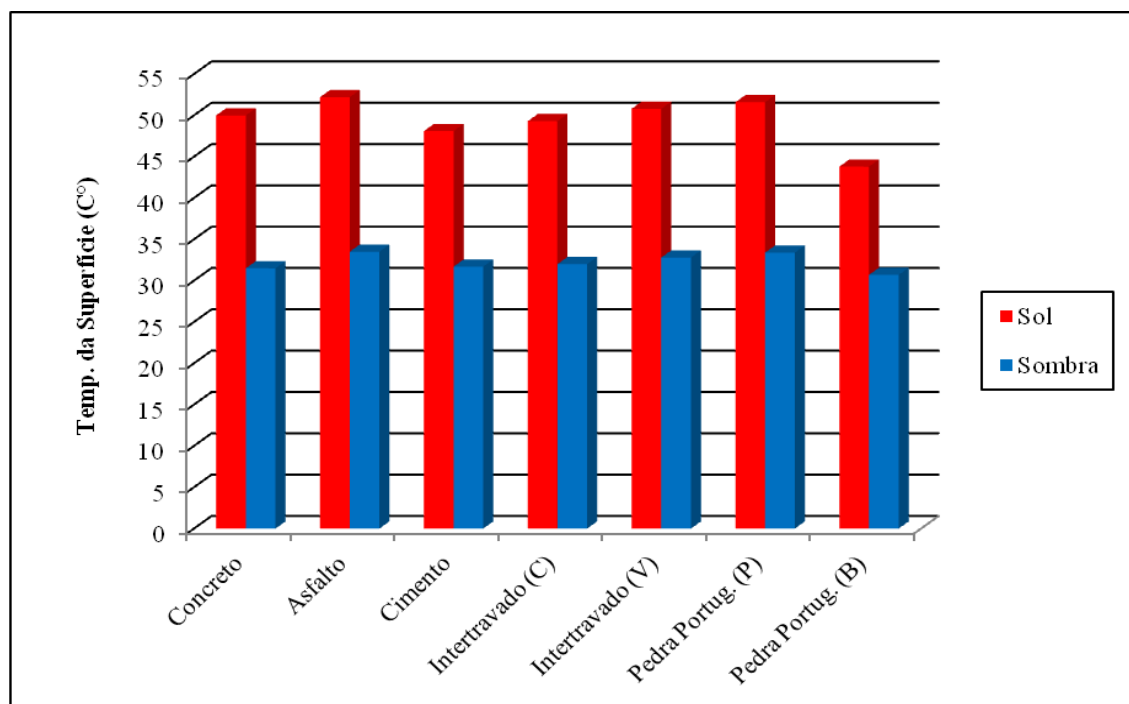
Fonte: Macedo, R.X (2015)

TABELA 23. Média da temperatura da superfície (°C) dos materiais, no período da tarde, encontrados no entorno ao ponto P4.

MATERIAL TS (°C)	16/01		17/01		18/01		MÉDIA	
	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	48,5	29,6	51,2	33,6	50,2	31,3	50,0	31,5
2. Asfalto	50,8	31,0	53,1	34,8	52,7	34,6	52,2	33,5
3. Cimento	46,4	29,1	49,4	33,7	48,5	32,4	48,1	31,7
4. Intertravado (C)	47,5	30,7	50,6	32,8	49,9	32,5	49,3	32,0
5. Intertravado (V)	49,9	31,5	51,9	33,5	50,6	33,5	50,8	32,8
6. Pedra Portug. (P)	50,5	32,8	52,4	33,9	51,8	33,5	51,6	33,4
7. Pedra Portug. (B)	46,3	30,1	38,7	31,5	46,5	30,6	43,8	30,7

Fonte: Macedo, R.X (2015)

FIGURA 68. Gráfico da média da temperatura da superfície (°C) dos materiais no entorno ao ponto P4, no turno da tarde.



Fonte: Macedo, R.X (2015)

Através da tabela 24, é possível observar que a pedra portuguesa preta (42,8°C) e o asfalto (42,8°C) obtiveram as maiores temperaturas da superfície ao sol (45,7°C e 50,6°C manhã e tarde respectivamente). Outro material que apresentou temperaturas elevadas foi o piso de concreto intertravado vermelho que registrou uma média de Ts 41,8°C ao sol, durante o turno da manhã, e 50,8°C, para o turno da tarde. Dentre os materiais que obtiveram a menor temperatura da superfície destaca-se a pedra portuguesa branca (39,8°C e 43,8°C manhã e tarde respectivamente).

TABELA 24. Síntese das médias das variáveis climáticas e da temperatura da superfície dos materiais, encontrados no entorno ao ponto P4, nos períodos matutino e vespertino.

Variáveis Climáticas	Manhã		Tarde	
TA (°C)	33,2		33,4	
UR (%)	55,5		54,6	
VV (m/s)	1,3		1,2	
DV (N)	L/SE		L/SE	
Materiais TS (°C)	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	41,3	30,3	50,0	31,5
2. Asfalto	42,8	30,8	52,2	33,5
3. Cimento	41,6	29,2	48,1	31,7
4. Intertravado (C)	40,6	29,5	49,3	32,0
5. Intertravado (V)	41,8	30,9	50,8	32,8
6. Pedra Portug. (P)	42,8	31,0	51,6	33,4
7. Pedra Portug. (B)	39,8	30,2	43,8	30,7

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Quando se analisa as tabelas 25 e 26, pode-se constatar que os materiais mais utilizados na pavimentação de recintos urbanos no 1ª Jardim de Boa Viagem possuem temperaturas da superfície bastante elevados, atuando consequentemente como um dos principais fatores do aumento da temperatura ambiente, diminuição da umidade relativa do ar, gerando desconforto térmico nos usuários desses recintos, podendo afetar a saúde e a produtividade humana.

TABELA 25. Síntese das médias de variáveis climáticas e dados de temperatura da superfície nos materiais identificados nos recintos urbanos P1, P2, P3 e P4 para o turno da manhã.

Variáveis Climáticas	P1		P2		P3		P4	
TA (°C)	29,7		30,2		32,3		33,2	
UR (%)	68,4		58,1		56,3		55,5	
VV (m/s)	1,7		2,0		1,5		1,3	
DV (N)	L/SE		L/SE		L/SE		L/SE	
Materiais TS (°C)	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	45,6	31,4	47,1	31,6	40,6	30,6	41,3	30,3
2. Asfalto	45,0	30,2	45,9	31,5	45,7	30,0	42,8	30,8
3. Cimento	43,0	29,3	42,3	29,4	42,5	28,8	41,6	29,2
4. Intertravado (C)	41,6	29,3	43,8	32,8	42,7	30,5	40,6	29,5
5. Intertravado (V)	43,0	30,1			43,2	29,5	41,8	30,9
6. Pedra Portug. (P)	45,0	31,7	44,5	31,1	43,3	28,8	42,8	31,0
7. Pedra Portug. (B)	41,0	31,0	41,3	31,2	39,0	28,3	39,8	30,2
8. Solo Exposto	41,5	28,0			41,7	28,3		
9. Grama	32,3	25,7			31,9	26,3		

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Esses materiais possuem propriedades térmicas e físicas que facilitam a captação e armazenamento da radiação eletromagnética, tanto direta quanto a difusa, em seu interior, aquecendo a superfície e posteriormente liberando a energia térmica, sob a forma de ondas longas, medidas por sensores na faixa do infravermelho termal.

Dentre as propriedades físicas, o albedo assume uma importância fundamental no cálculo da temperatura da superfície. Os materiais que apresentam uma coloração mais escura, como o asfalto, a pedra portuguesa preta, o cimento, os pisos de concreto intertravado nas cores vermelho, amarelo e cinza-escuro, tendem a absorver e armazenar maiores quantidades do fluxo radiante, enquanto que materiais de cores mais claras, como a pedra portuguesa branca, o piso de concreto intertravado de cor cinza-claro tendem a refletir a radiação solar incidente.

TABELA 26. Síntese das médias de variáveis climáticas e dados de temperatura da superfície nos materiais identificados nos recintos urbanos P1, P2, P3 e P4 para o turno da tarde.

Variáveis Climáticas	P1		P2		P3		P4	
TA (°C)	31,3		31,6		33,9		33,4	
UR (%)	62,9		58,4		55,6		54,6	
VV (m/s)	2,3		2,1		1,2		1,2	
DV (N)	L/SE		L/SE		L/SE		L/SE	
Materiais TS (°C)	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra
1. Concreto	49,9	38,3	47,9	35,9	48,9	35,4	50,0	31,5
2. Asfalto	49,9	40,0	48,6	37,1	50,6	36,0	52,2	33,5
3. Cimento	47,5	36,9	46,8	34,4	46,7	34,2	48,1	31,7
4. Intertravado (C)	48,4	36,1	46,3	36,0	46,1	33,9	49,3	32,0
5. Intertravado (V)	48,9	36,2			47,0	34,4	50,8	32,8
6. Pedra Portug. (P)	49,5	36,2	46,7	32,8	48,7	33,9	51,6	33,4
7. Pedra Portug. (B)	45,6	34,0	45,1	32,6	45,5	33,0	43,8	30,7
8. Solo Exposto	45,8	32,6			41,9	31,1		
9. Grama	33,9	23,5			33,2	27,2		

Fonte: Macedo, R.X (2015)

Outro ponto a ser destacado são as propriedades térmicas dos materiais como a condutividade térmica e capacidade calorífica. De acordo com Gartland (2010 p.30) *“Materiais com alta condutividade térmica tendem a conduzir o calor para o seu interior. Materiais com alta capacidade calorífica são capazes de armazenar mais calor em seu volume.”*

O concreto e o asfalto, no geral, apresentaram-se como os principais agentes do aumento da temperatura no ambiente urbano. Esse pressuposto é observado não apenas pelos estudiosos do clima urbano, mas também pelos usuários dos recintos. Geralmente, o concreto possui algumas vantagens com relação ao asfalto. Sua cor é mais clara, refletindo mais a radiação solar, e normalmente possuem valores de condutividade térmica e capacidade calorífica menores que os pavimentos asfálticos (GARTLAND, 2010). O asfalto, por ser mais escuro, tende a conduzir o calor para o seu interior e também de armazenar mais energia

térmica em seu volume. Portanto, normalmente possuem valores de condutividade térmica e capacidade calorífica maiores que o concreto.

Outra superfície que relativamente apresentou temperaturas elevadas foi o piso de blocos de concreto intertravado. Eles são geralmente coloridos, deste modo podem apresentar grande variação nos valores de albedo a depender da cor do material. Portanto, o piso intertravado de cor vermelha, cinza-escuro e amarelo registraram valores de temperatura maior que os intertravados de cor cinza-claro.

Além disso, os intertravados possuem uma elevada capacidade de drenagem e armazenamento de água, tornando um pavimento tipicamente permeável, quando se compara ao cimento. Isso permite a infiltração das águas pluviais, possibilitando o escoamento por entre o revestimento e armazenando a água da chuva nas camadas e no solo abaixo dele. Nos dias ensolarados, a água armazenada irá evaporar permitindo o resfriamento do material.

Por este motivo, e aliado à elevada capacidade de acessibilidade de pessoas com deficiência este tipo de pavimento é bastante recomendável por arquitetos e urbanista para o revestimento de calçadas, estacionamentos em geral, passeios de condomínios, área de acesso a garagens, pátios, praças pública, passeios públicos, entre outros.

Entre as superfícies que não apresentaram temperaturas relativamente altas estão a pedra portuguesa branca. Tendo em vista que a coloração do material influencia, decisivamente, na propriedade física do albedo, a cor branca reflete a maior parte da radiação solar incidente no material, permitindo que um pequeno fluxo seja absorvido e armazenado em seu interior, sob a forma de calor. Posteriormente, o calor armazenado será emitido pela superfície aquecendo a camada de ar adjacente.

A superfície revestida por pedras portuguesas na cor preta apresentou temperatura elevada. Não obstante ser constituída de calcário, rochas que possuem alta condutividade térmica, a coloração preta permite maior capacidade de armazenamento da energia térmica em seu volume, propriedade conhecida como capacidade calorífica. Por este motivo, os índices de temperatura da superfície tendem a ser mais elevados que as pedras brancas.

Apesar de não serem classificados como materiais permeáveis, as pedras portuguesas possuem uma permeabilidade maior em comparação ao cimento ou concreto, devido a existência de microfissuras nos espaços entre as pedras, permitindo que as águas pluviais se infiltrem em seu interior, resfriando a superfície.

No entanto, convém salientar que a falta de manutenção das pedras portuguesas podem acarretar o aparecimento de buracos e pedras soltas, elevando os riscos de acidentes

aos usuários dos passeios urbanos. Portanto, a utilização desse material no revestimento de passeios públicos pode ser indicado, desde que seja realizada a manutenção periódica do material (RIBEIRO et al. 2011).

A medição sobre superfície revestida por cimento se deu pela mistura deste material com outros de diferentes naturezas como areia, pedra, cal, entre outros. A cor cinza-escura do cimento permite maior absorção da radiação solar, armazenando a energia térmica em seu interior. Ademais, Ribeiro et al. (2011) elucida o processo químico da formação do cimento, onde o calcário é aquecido em altas temperaturas, juntamente com a argila e areia.

A ausência de vegetação é um fator determinante para o aquecimento de áreas urbanas. O uso difundido da vegetação constitui uma das principais estratégias empregadas com o objetivo de amenizar os efeitos do aumento da temperatura do ar e as consequentes ilhas de calor urbanas. A vegetação exerce um importante papel na regularização do clima urbano.

Souza *et al.* (2006) contribui afirmando que a arborização urbana traz muitos benefícios para a cidade, e tais benefícios devem ser preservados para minimizar os transtornos causados pela falta de arborização. Então não há dúvidas de que a arborização urbana é um instrumento eficaz para minimizar os impactos negativos nos centros urbanos (SOUZA et al. 2006).

Para Almeida (2009) a presença e a distribuição da vegetação têm implicações termodinâmicas que repercutem decisivamente no desempenho energético da cidade. O conhecimento de parâmetros que qualifiquem e quantifiquem os benefícios trazidos pela vegetação na amenização do comportamento climático nos recintos urbanos é de grande importância para profissionais que atuem no planejamento urbano.

Mascaró (2006) descreve que, sob agrupamento arbóreo, a temperatura do ar é de 3 °C a 4 °C menor que nas áreas expostas à radiação solar. A diferença se acentua com a redução do deslocamento do ar entre as áreas ensolaradas e sombreadas e com o aumento do porte da vegetação. As várias camadas da copa ampliam a absorção da radiação solar e a estratificação da temperatura do ar sob a vegetação (GARTLAND, 2010).

Como o desenvolvimento urbano normalmente conduz a uma redução da evaporação, principalmente devido à substituição da vegetação e a impermeabilização das superfícies, recomenda-se que as áreas verdes como hortos, parques, praças ou coberturas verdes sejam distribuídas, ao longo da cidade de forma a modificar o clima através da adição

de uma maior quantidade de vapor d'água no ambiente, liberada na transpiração das plantas, e do bloqueio da radiação solar e da radiação refletida pelo entorno.

O presente estudo de natureza interdisciplinar, cita algumas soluções para materiais de revestimento do solo, com o objetivo de diminuir a intensidade do armazenamento de calor das superfícies impermeáveis e suas consequências danosas para o conforto térmico dos cidadãos. Todavia, a falta de interesse do poder público e da iniciativa privada, no desenvolvimento e fomento para pesquisas, juntamente com a falta de informação por parte da sociedade civil e os altos custos para implantação dessas inovações, seja por questões técnicas, ou políticas, fazem com que soluções como essas não sejam colocadas em prática, em escala industrial (RIBEIRO et al. 2011).

Ribeiro et al. (2011), elucida como solução sustentável para o asfalto, o pó de borracha de pneus. Esse material pode ser adicionado ao ligante asfáltico, aumentando o ciclo de vida e durabilidade do material. Ribeiro et al. (2011) cita a utilização do concreto ecológico, em substituição aos blocos intertravados. *“Essa solução, produzida por um laboratório da Universidade de São Paulo, utiliza resíduos industriais na elaboração do material, onde, 70% da areia convencional é substituída pela areia de fundição, descartada durante a produção de peças metálicas.”*

FIGURA 69. Aplicação do pó de borracha de pneu sendo adicionado ao ligante asfáltico.



Fonte: Página do Route news¹¹

¹¹ Disponível em: <http://routenews.com.br/index/?p=2517>, acesso em Set. 2015

FIGURA 70. Aplicação do concreto ecológico, em substituição aos blocos intertravados na pavimentação de passeios urbanos.



Fonte: Página da Revista Geração Sustentável¹²

Outra solução sustentável, defendida pelo mesmo autor, é a utilização do material conhecido por escória de aciaria “[...] *resíduo criado na fabricação do aço, que aliado a um pouco de cimento, dá resultado a um concreto com utilidades específicas*” (RIBEIRO et al. 2011) Esse tipo de inovação é recomendada principalmente pelas vantagens ambientais e econômicas, onde, a reciclagem surge como alternativa para redução da degradação ambiental.

Autores como Gartland (2011), Bauer et al. (2010) e Ribeiro et al. (2011) promovem a utilização de técnicas alternativas e mitigadoras dos efeitos do aumento da temperatura em ambientes urbanos. Uma dessas técnicas vem sendo utilizada há décadas nos EUA, porém no Brasil sua aplicação é bastante limitada. Trata-se da aplicação do filme hidrofugante sobre revestimentos asfálticos. Gartland (2011) detalha seu processo construtivo:

O filme hidrofugante é aplicado em um processo de quatro etapas: primeiro uma emulsão asfáltica aglutinante é pulverizada sobre o pavimento. Isso é seguido imediatamente sobre a aplicação de brita. Em seguida a brita é prensada no asfalto como a utilização de um rolo compressor. Finalmente o excesso de agregados é retirado da superfície da rodovia. O selamento por filme hidrofugante geralmente tem sua vida útil de cinco a sete anos (GARTLAND, 2011 p.117-118).

¹² Disponível em: <http://revistageracaosustentavel.blogspot.com.br/2013/05/piso-ecologico.html>, acesso em Set. 2015

FIGURA 71. Aplicação da escória de aciaria misturado com o cimento para fabricação do concreto na pavimentação de estradas.



Fonte: Página da Revista Fator Brasil¹³

Um dos principais benefícios da técnica do filme hidrofugante é a utilização de agregados mais claros, quando comparado aos aglutinantes asfálticos, o que reduz consideravelmente o armazenamento de calor (Bauer et al. 2010).

Outra solução sustentável, destinado para áreas ecologicamente sensíveis é conhecida por pavimentos a base de resina. Para Gartland (2010 p.121) “[...] *ao contrário dos pavimentos asfálticos típicos, que utilizam aglutinantes a base de petróleo, os pavimentos a base de resina modificada utilizam aglutinantes a base de resina extraída das árvores.*”

Com relação ao seu albedo, “[...] *o aglutinante de resina é translúcido, e por este motivo o pavimento toma a cor de quaisquer agregados utilizados. A utilização de agregados mais claros produz um pavimento mais refletivo e mais frio*” (GARTLAND, 2010 p.121).

¹³ Disponível em: http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=17950, acesso em Set. 2015

FIGURA 72. Aplicação de pavimento a base de resina.



Fonte: Página do cepsa¹⁴

¹⁴ Disponível em: http://www.cepsa.com/cepsaPt/O_Que_Oferecemos/Produtos_Asfalticos, acesso em Set. 2015

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que os materiais mais utilizados na pavimentação do 1ª Jardim de Boa Viagem possuem valores de temperatura da superfície bastante elevados, contribuindo, de maneira decisiva, para o aumento da temperatura do ambiente e redução da umidade relativa do ar, posto que se aquecem sobre o sol, liberando esta energia armazenada para seus arredores ao entardecer e durante a noite.

Os materiais de pavimentação que apresentaram as maiores temperaturas de superfície tendem a possuir cores escuras, como o asfalto, o cimento, as pedras portuguesas de cor preta, o bloco de concreto intertravados nas cores vermelha, amarelo e cinza-escuro, o próprio concreto, apesar de possuir uma coloração cinza-claro. Estes materiais possuem baixos valores de albedo, visto que absorvem grandes quantidades de radiação solar, armazenados em seu interior, sob a forma de energia térmica.

Outro ponto a ser destacado, é a impermeabilidade dos materiais. As superfícies que registraram as maiores temperaturas tendem a ser totalmente impermeáveis, ou seja, superfícies que não possuem poros, como o asfalto, concreto, pedras portuguesas e cimento, pois eles não permitem que a água da chuva escoe por entre os pavimentos e seja armazenada nas camadas e no solo abaixo dele. Em dias ensolarados, a água quando evapora, resfria o pavimento.

Através da utilização de imagens do sensor TM do Landsat 5 foi possível classificar as localidades de maior temperatura para o território municipal do Recife, para o bairro de Boa Viagem e 1ª Jardim de Boa Viagem. Pela utilização do Índice de Área Foliar (IAF), observou-se que Recife possui algumas áreas de vegetação expressiva como o manguezal do Pina, a mata de Dois Irmãos, entre outras. No entanto, a distribuição das áreas verdes no município é extremamente concentrada, estando localizada em grande parte, em fragmentos florestais ao norte e oeste do município.

Ficou evidente que, os aspectos relacionados à forma urbana contribuíram demasiadamente para o aprisionamento da energia térmica nos materiais de superfície, o que determinou aumento na temperatura do ar. O adensamento construtivo, a verticalização e a disposição dos edifícios (com reduzido espaçamento entre eles), dificultam o escoamento dos ventos, impossibilitando a dispersão do calor que emana dos materiais e também dos poluentes da atmosfera urbana.

A intensa impermeabilização do solo no 1ª Jardim de Boa Viagem e ausência de cobertura vegetal são os principais fatores que ocasionam o armazenamento de calor pelos materiais, a emissão da energia térmica para o ambiente aumentando a temperatura e reduzindo a umidade relativa do ar.

Por isso, a atuação de profissionais como Arquitetos e Urbanistas, Engenheiros, Geógrafos e demais categorias que participam diretamente nas ações de intervenção urbana, precisam refletir sobre o tipo de material a ser utilizado, optando por aqueles que minimizam os impactos do armazenamento de calor em áreas urbanas.

Portanto, recomenda-se para o revestimento de calçadas, passeios públicos, estacionamentos em vias públicas, praças públicas, áreas de acesso a condomínios e vias locais com pouco fluxo de veículos, o sistema de blocos permeáveis, conhecido por cobograma.

Para as vias coletoras, cuja função é conectar o trânsito de veículos que tenham a necessidade de entrar ou sair das vias locais para as vias arteriais, o pavimento asfáltico ainda é o mais recomendado, pois é de fácil instalação se comparado com o concreto e também oferece custos mais baixos.

No entanto, o concreto possui maior durabilidade, suporta maiores cargas de tráfego e necessita de menos manutenção. Por este motivo, o concreto é mais utilizado para vias arteriais, cuja função é fazer a ligação entre regiões de uma cidade. As vias arteriais possuem maior dimensão e concentra um tráfego maior de veículos, consoante a isto, nas vias arteriais a quantidade de partículas sólidas e gases na atmosfera tendem a ser excessivos.

Com o objetivo de mitigar os efeitos do armazenamento de calor dos pavimentos asfálticos, algumas soluções sustentáveis foram desenvolvidas, como o pó de borracha de pneus na mistura de ligantes asfálticos aumentando o ciclo de vida e durabilidade do material. Para o concreto, a adição da escória de aciaria, resíduo gerado na fabricação do aço, surge como uma alternativa para a redução da degradação ambiental.

Ademais, o concreto e o asfalto podem tornar-se permeáveis e de cores mais claras. No primeiro caso, basta a remoção de partículas de areia e pedras na mistura da composição de ambos os materiais. No segundo caso, é necessária a utilização de agregados, aglutinantes e pigmentos que possuem cores mais claras, aumentando a reflexão. Uma vez que a coloração exerce maior efeito sobre os valores de albedo, os materiais de cores mais claras são normalmente os mais frios. Pavimentos permeáveis permitem a infiltração da água da chuva,

possibilitando o seu armazenamento nas camadas abaixo do revestimento, mantendo o resfriamento do material.

Para a área de estudo foi constatado que a preservação de superfícies com cobertura vegetal, é deveras reduzida, salvo raras exceções como a Avenida Boa Viagem, que margeia a praia homônima e caracteriza-se pela presença de vegetação de porte arbóreo, herbáceo e arbustivo. Deste modo, a preservação de áreas verdes, tanto em espaços públicos quanto em ambientes particulares, torna-se fundamental para a promoção da qualidade ambiental urbana e o bem estar físico e psicológico dos cidadãos. Além do mais, a vegetação constitui um importante fator amenizador da temperatura do ar.

Através das sombras projetadas pelas árvores, as superfícies urbanas - sejam elas logradouros, avenidas, passeios urbanos, praças, parques – estão protegidas da radiação de ondas curtas, proveniente do sol. Ademais, pelo processo da fotossíntese, árvores e vegetação absorvem a radiação solar, juntamente com o CO₂ da camada de ar subjacente e liberam umidade para o ambiente (evapotranspiração), refrescando o entorno circundante.

Por fim, recomenda-se a preservação de áreas verdes e da arborização já existente, a elaboração de políticas públicas que incentivem a implantação da vegetação dentro de grandes empreendimentos imobiliários e industriais, ou seja, um maior percentual de utilização do terreno destinados ao plantio de mudas; a adoção de coberturas verdes, uma realidade já presente em muitas cidades do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). **Advance training and users manual – Idaho Implementation**, version 1.0, 97p., 2002.
- ALMEIDA, A. M. de. **Conforto térmico e eficiência energética em edifício multifamiliar na cidade de Maceió – AL**. 2009. 220 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Dinâmica do espaço habitado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.
- ANDRADE, S. C. P.; VIEIRA, V. R.; MORAIS, H. F.; ALBUQUERQUE, E. M.; SANTOS, C. A. C. Estimativa de albedo, NDVI e Temperatura de Superfície no município de Santarém-PA. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu - PR. **Anais do XVI SBSR**, Foz do Iguaçu. 2013. p.178-286.
- ARAUJO, T. L. **Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/Landsat 5**. 2006. 88 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.
- ARNOLD, C. L. Jr.; GIBBONS, C. J. Impervious Surface Coverage: The emergence of a key environmental indicator. **Journal of the american planning association**. v.62, New York, p.243-258, 1996.
- ASAEDA, T.; CA, V. T.; WAKE, A. Heat storage of Pavement and its effect on the lower atmosphere. **Atmospheric environment**. v.30, p.413-427, 1996.
- ASSIS, E. S. Estudo integrado da ilha de calor em áreas urbanas e sua contribuição ao planejamento : o caso de Belo Horizonte, MG. **Fórum mudanças climáticas** v.4, Belo Horizonte-MG, 2011. (N.1).
- AVISSAR, Roni. **Conceptual aspects of a statisticaldynamical approach to represent landscape subgrid-scale heterogeneities in atmospherical models**. J. Geophys Res. v.97, p. 2729-2742, 1992
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 332p.
- BARBIRATO, G. M; SOUZA, L. C. L; TORRES, S. C. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007.
- BARROS, H. R; GALVINCIO, J. D; LOMBARDO M. A. Interferência de fatores antrópicos e fenômenos climáticos na mudança e variação da Temperatura da Superfície da cidade do Recife: utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto. In: **Mudanças climáticas e impactos ambientais**. GALVINCIO, J. D. (org). Recife: Universitária da UFPE, 2010, p.275-290.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL - Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: novos materiais para a construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 538p

BRASIL, **III Conferência Nacional do Meio Ambiente**. Mudanças Climáticas. Caderno de Debate. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2008.

BEZERRA, B. G. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no Cariri Cearense através do algoritmo SEBAL**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

BEZERRA, Onilda Gomes. **O Manguezal do Pina: a representação sociocultural de uma paisagem**. 2000. 337 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

BLASCHKE, T; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIGs avançados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 304p.

BORGES, M. G. E. **Influência do ambiente construído no microclima urbano: estudo de caso no campus da Universidade Federal de Santa Catarina**. 2006. 128 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 128f.

BRAGA, C. C., SOARES, F. R., DANTAS, F. R. C., BARBIERI, L. F. P. Determinação do albedo e índice de área foliar usando o sensor TM / LANDSAT 5. In: **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal – RN, Abril 2009, p.935-942.

CARLOS, A. F. **Espaço-tempo na metrópole**. São Paulo: Contexto, 2001.

CARTWRIGHT, P. Blue diamond materials and excel paving provide colored asphalt for Union Station Project. **California Asphalt**. November/December: p.8-9. 1998.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de convergência do Atlântico sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S; SILVA, M. G. A. J. (orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.95-109.

CARVALHO, M. M. **Clima urbano e vegetação: estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal**. 2001. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. London: Hutchinson, 1965.

CHEN, Y., WANG, J., & LI, X. A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. **Remote sensing for land and resources**, V.4, p.55–59. 2002.

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

CORREA, A. C. B. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 23, p.86-101, 2006.

CORREA, R. L. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 1999.

DIAS, M. A. F. S; SILVA, M. G. A. J. Para entender tempo e clima. In: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, N.J; DIAS, M.A.F.S; SILVA, M.G.A.J. (orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.15-21.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. 2002. 231 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

ESTEVES, R. L. **Quantificação das superfícies impermeáveis em áreas urbanas por meio de sensoriamento remoto**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Nacional de Brasília, Brasília – DF, 2006.

FARNDON, J. **Dicionário escolar da terra**. Lisboa: Civilização Editora, 1996.

FREITAS, R. M. **Entre mitos e limites**: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2008. 270p.

FROTA, A. B; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**: imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Textos, 2007. 101p.

FITZ, P. B. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas / Lisa Gatland; Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GOMES, L. C. F. **Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

HEROLD, M; GOLDSTEIN, N. C; CLARKE; 2003. The Spatiotemporal form of Growth: Measurement, analysis and modeling. **Remote sensing of environment**, v.91: p.304-319.

HERRERA, C.; Vicente M.; **A dinâmica da transformação**: resgate da memória do processo de urbanização da Avenida Boa Viagem. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1992.

HIGUERAS, E. **Urbanismo bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2010. 241p.

HUANG, L; LI, J; ZHAO, D; ZHU, J. A Fieldwork Study on the Diurnal Changes of Urban Microclimate in four types of ground cover and Urban heat Island of Nanjing, China. **Building and Environment**, Beijing, 2008 v.43, p.7-17.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa nacional por amostra de domicílio**. v.33. Rio de Janeiro, 2013. 1133p. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> acesso em Fev. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <<http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>> acesso em Fev. 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente** – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. São José dos Campos - SP: Parêntese Editora, 2009. 598p.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981. 276p.

LEVINSON, R; AKBARI, H. Effects of composition and exposure on the solar reflectance of Portland Cement Concrete. Berkeley, CA, **Lawrence Berkeley National Laboratory**: 51

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucite, 1985. 244p.

LÜDKE, Menga & ANDRÉ, Marli E. D. A. **Pesquisas em Educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARCONI, M. A; LAKATOS; E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas S.A, 2010.

MASCARÓ, J. L. Pavimentos. In: MASCARÓ, L. R; FREITAS, R. M; MASCARÓ, J. L (org.) **Infra-Estrutura da Paisagem**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2008.

MASCARÓ, L. R. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: + 4 Editora, 2006. 199p.

MELO, A. B. C; CAVALCANTI, I. F. A; SOUZA, P. P. Zona de convergência intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; DIAS, M. A. F. S; SILVA, M. G. A. J. (orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.25-41.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de texto, 2007. 206p.

MENDONÇA, F. Clima e planejamento urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. In: MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. (orgs.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2013.

MENEZES, P. R; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto** – Reflectância dos alvos naturais. Editora Universitária da UNB. Brasília, 2001. 262p.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (orgs.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2013.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Universitária, 1976.

MOREIRA, F. D. **A construção de uma cidade moderna: Recife (1909-1926)**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1994.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNCIO, J. D. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM – Landsat 7. **Revista de Geografia**, v. 24, p. 101-115, 2007.

MOREIRA, E. B. M. & NÓBREGA, R. S. Uso de imagens multiespectrais aplicada à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura e albedo da superfície. In: **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba - PR, Brasil p.0776. 2011.

MOREIRA, E. B. M. **Balanco de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto**. 2014. 152 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MORENO, J. **O futuro das cidades**. São Paulo: SENAC, 2002. 162p.

OBSERVATÓRIO, **Como anda a Região Metropolitana do Recife**, UFPE/ FASE/ DCG/ DAU (Relatório de Atividade), 2006.

OLIVEIRA, A. G. Temperaturas superficiais e revestimentos do solo urbano: estudo de caso da praça do aeroporto Marechal Rondon em Várzea Grande/MT. In: **Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Natal-RN, Set. 2009.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de Metodologia Científica**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen, 1978.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.108, p.1-24. 1982

OLIVEIRA, T. H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE**. 2012. 154 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2012.

PACKARD, R. G. Pavement costs and quality: A consumer's report. **Concrete International** 16(8). 1994.

PAIVA, Y. G.; RIBEIRO, A.; ALMEIDA, A. Q.; GLERIANE, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) através de Fotografias Hemisféricas e Índices de Vegetação em plantios clonais de Eucalipto. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais**, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 2873-2880. 2009

PETRUCCI, C.G.R. **Materiais de construção**. São Paulo: Globo, 1998. 435p

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntesis, 2007. 136p.

PREFEITURA DO RECIFE. **Dados estatísticos e indicadores demográficos/2010**.

Recife: 2012. Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/dados-estatisticos-e-indicadores-demograficos2010/>> Acesso em: Mai de 2015.

REZENDE, A. P. **O Recife: história de uma cidade**. Recife: Fundação de Cultura do Recife, 2002. 205p

ROCHA, R. B. E. S. Dos coqueiras as casas, das casas as torres: O 3º Jardim no processo histórico de verticalização do bairro de Boa Viagem – o que deve permanecer? In: Anais do XV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. Recife-PE, p. 565. 2013

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Universidade de Brasília, 2007. 225p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2009. 262p.

RIBEIRO, C. C; PINTO, J. D. S; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 3ª Ed. Belo Horizonte: Editora UFM, Escola de Engenharia da UFMG, 2011.

RICHARDSON, Robert Jarry et all. **Pesquisa Social. Métodos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

SANTANA, G. V. **Habitação e vizinhança**: um estudo das relações sociais no espaço habitado nos bairros de Boa Viagem e Casa Forte. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1998.

SANTANA, A. M. S. **O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 1997.

Schueler, T.R. (1994). “**The importance of imperviousness.**” In: Watershed Protection Techniques, 1(3), 100-111.

SHACKELFORD, J.F. **Introdução a ciência dos materiais para engenheiros**. Tradução: VIEIRA, D. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SILVA, A. P. N.; GUSMÃO, A. C. V. L.; GOMES, N. V. SILVA, B. B.; MOURA, G. B. A. Características do saldo de radiação na Amazônia Ocidental. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais**. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Belém – PA. 2010

SILVA, B. B. da; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. **Revista brasileira de agrometeorologia**, v.14, p. 1-10, 2006.

STEINKE, E. T. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. 2004. 201 f. Tese (Doutorado em Ecologia) Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. Avaliação da estimativa da temperatura de superfície a partir de imagens de satélite Landsat TM 5 voltada para a gestão de bacias hidrográficas. SAITO, C. H. (org.). **Desenvolvimento tecnológico e metodológico para mediação entre usuários e comitês de bacia hidrográfica**. Brasília: Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, 2004. p. 41-64.

TAVARES, A.C. **Mudanças climáticas**. In: VITTE, A.C; GUERRA, A.J.T. (orgs.). Reflexões sobre a geografia física no Brasil. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p.49-85.

TSAY, C. M.; LIU, W. T. Estimativa de albedo, temperatura e NDVI do estado de São Paulo através de dados AVHRR do satélite NOAA. **Anais...** XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro – RJ. P. 3842-3850. 2000

UNITED NATIONS ORGANIZATION. **World urbanization prospects: The 2014 Revision**. Department of economic and social affairs, New York, 2014. Disponível em: <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>, acesso em Mai. 2015.

VASCONCELOS, R. F. A; BEZERRA, O. G. **Atlas ambiental da cidade do Recife**. Recife: Prefeitura da Cidade do Recife/ Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente. 2000.

XAVIER, A. C., VETTORAZZI, C. A., MACHADO, R. E. Relação entre Índice de Área Foliar e frações de componentes puros do Modelo Linear de Mistura Espectral, usando imagens ETM+/LANDSAT. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.421-430, maio/ago. 2004

ENDEREÇOS ELETRÔNICOS

Arquitetura da Liberdade. In: Disponível em: <http://arquiteturadaliberdade.wordpress.com>, acesso em Set. 2015.

Arquitetura Portuguesa. In: Disponível em: <http://arquiteturaportuguesa.pt/urbanismo-em-portugal>, acesso em Set. 2015.

CEPSA. In: Disponível em: http://www.cepsa.com/cepsaPt/O_Que_Oferecemos/Produtos_Asfalticos, acesso em Set. 2015

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. In: Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>, acesso em Set. 2015.

Digital Globe. In: Disponível em: <http://www.globalgeo.com.br/satelite/quickbird/>, acesso em Mar. 2015.

Ecoviagem. In: Disponível em: <http://ecoviagem.uol.com.br/noticias/turismo/turismo-internacional/mundo-arabe-uma-unica-viagem-varios-destinos-13501.asp>, acesso em Mar. 2015.

ESIG – Informações Geográficas do Recife. In: Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>, acesso em Mar.2015

Google Earth. In: Disponível em: <http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>, acesso em Jul. 2015.

Helena Degreas. In: Disponível em: <http://helenadegreas.wordpress.com/tag/espaco-publico>, acesso em Set. 2015.

Imaging. In: Disponível em: <http://www.euspaceimaging.com>, acesso em Mar.2015.

Landsat. In: Disponível em: <http://www Landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3217>, acesso em Fev. 2015.

Mundo Educação. In: Disponível em: <http://www.mundoeducação.com.br>, acesso em Mai 2015.

Revista Geração Sustentável. In: Disponível em: <http://revistageracaosustentavel.blogspot.com.br/2013/05/piso-ecologico.html>, acesso em Set. 2015

Revista Fator Brasil. In: Disponível em: http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=17950, acesso em Set. 2015

Route news. In: Disponível em: <http://routenews.com.br/index/?p=2517>, acesso em Set. 2015.

Soul Brasileiro. In: Disponível em: <http://soulbrasileiro.com.br/main/rio-dejaneiro/favelas/rocinha>, acesso em Abri. 2015.