



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**FELÍCIO SANTOS DE OLIVEIRA**

**MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E  
TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR**

JERÔNIMO MONTEIRO

2015

FELÍCIO SANTOS DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E  
TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na área de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos

Coorientador: Aderbal Gomes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

O48m Oliveira, Felício Santos de, 1987-  
Mapeamento da vegetação urbana e distribuição espacial e temporal de ilhas de calor / Felício Santos de Oliveira. – 2015.  
92 f. : il.

Orientador: Alexandre Rosa dos Santos.

Coorientador: Aderbal Gomes da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Cobertura vegetal. 2. Florestas urbanas. 3. Conforto térmico. 4. Geotecnologias. I. Santos, Alexandre Rosa dos. II. Silva, Aderbal Gomes da. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

---

# **MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR**

**FELÍCIO SANTOS DE OLIVEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na área de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Aprovado em 13 de março de 2015.

---

Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos  
(Orientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva  
(Coorientador)  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. José Marinaldo Gleriani  
(Membro externo)  
Universidade Federal de Viçosa

---

Prof. Dr. Wantuelfer Gonçalves  
(Membro externo)  
Universidade Federal de Viçosa

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, educadores, Geraldo Magela de Oliveira e Maria da Graças Carvalho Santos, aos meus avós paternos Geraldo e Dorvalina, e aos meus avós maternos Ivone e Cirilo. Dedico também aos meus irmãos, fiéis conselheiros, Graciella e Patrício, bem como seus respectivos filhos, e portanto meus sobrinhos queridos, Pietro e Samuel, que eles possam crescer repletos de saúde, paz, felicidade e esbanjem qualidade de vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, irmãos e demais familiares, pelas vibrações positivas, torcida, apoio e amores incondicionais.

À minha namorada Amana, pelo amor, companheirismo, amizade e muitos momentos felizes vividos.

Ao querido professor e orientador Professor Doutor Alexandre Rosa dos Santos, pela didática exemplar, cordialidade e confiança na realização deste trabalho, bem como à sua orientação, esclarecimentos e críticas.

Aos colegas e amigos de república e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, UFES, pela amizade e companheirismo nestes anos de convivência.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, à estrutura da Universidade, aos professores, funcionários e todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente com esta minha capacitação profissional e formação social.

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa que me proporcionou desenvolver este trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Felício Santos de Oliveira, filho de Geraldo Magela de Oliveira e Maria das Graças Carvalho, nasceu no dia 27/02/1988, na cidade de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, irmão de Graciella Santos de Oliveira e Patrício Santos de Oliveira.

Em 2002 concluiu o Ensino Fundamental no Colégio Imaculada Conceição, no município de Barbacena, MG e em 2005 o Ensino Médio no Colégio Santa Rita em Conselheiro Lafaiete, MG.

Em março de 2007 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, concluindo o mesmo em setembro de 2012.

Atualmente, é mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, na linha de pesquisa de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, com ênfase em Geotecnologias, iniciado no ano de 2012.

## RESUMO

OLIVEIRA, Felício Santos de. **Mapeamento da vegetação urbana e distribuição espacial e temporal de ilhas de calor**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Coorientador: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

O crescimento urbano desordenado e as ocupações irregulares da terra dificultam a execução de planejamentos adequados que viabilizem a integração das áreas construídas e vegetadas, provocando a depreciação da qualidade de vida nas cidades. As transformações das superfícies dos solos são responsáveis por profundas mudanças no balanço de energia, causando, dentre outras consequências, influência na dinâmica do movimento do ar, aumento da temperatura nas cidades e o fenômeno das ilhas de calor. O conjunto da vegetação em ambientes urbanos contribui para a melhoria da qualidade ambiental e manutenção do equilíbrio ecológico. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo mapear e identificar a vegetação urbana da cidade de Vila Velha, localizada na região metropolitana da Grande Vitória, ES, e analisar os benefícios por ela proporcionados, sobretudo em relação ao efeito nas ilhas de calor. O trabalho foi dividido nas seguintes etapas metodológicas: a) mapeamento da vegetação urbana por fotointerpretação em tela; b) identificação e espacialização das áreas verdes; c) cálculo de índices de qualidade ambiental; d) aplicação de um algoritmo e técnicas de sensoriamento remoto para obtenção da distribuição da temperatura da superfície terrestre do município de Vila Velha; e f) avaliação ecológica das ilhas de calor no município de Vila Velha, em 16 datas entre os anos de 2008 e 2011. Como resultados foram obtidos 20,86 km<sup>2</sup> de vegetação urbana distribuídas em 16 classes, 42 espaços livres e 09 áreas verdes na cidade, bem como um Índice de Áreas Verdes (IAV) de 17,56 m<sup>2</sup>/habitante. Obteve-se ainda um coeficiente de correlação positivo entre os valores de Temperatura da Superfície (Ts) e o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI), sendo observado e registrado um acréscimo de no mínimo 2,34°C das áreas urbanizadas em relação ao seu entorno não urbanizado.

**Palavras-chave:** cobertura vegetal, florestas urbanas, conforto térmico, geotecnologias.



## ABSTRACT

OLIVEIRA, Felício Santos de. **Mapping of urban vegetation and spatial and temporal distribution of the heat islands**. 2015. Dissertation (Master Degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos. Co-adviser: Prof. Dr. Aderbal Gomes da Silva.

The urban sprawl and the illegal occupation of land hinder the implementation of appropriate plans that enable the integration of the built and vegetated areas, causing decreased quality of life in cities. The transformation of the soil surfaces are responsible for profound changes in the energy balance, causing, among other consequences, influence the dynamics of air movement, temperature increase in the cities and the phenomenon of urban heat island. The set of vegetation in urban environments contributes to the improvement of environmental quality and maintain ecological balance. In this context, this paper aims to map and identify urban vegetation of the city of Vila Velha, located in the metropolitan region of Greater Vitória, and analyze the benefits provided by, especially in relation to the effect on the urban heat island. The work was divided into the following methodological steps: a) mapping of urban vegetation by photo-interpretation on screen; b) identification and spatial distribution of green áreas; c) calculation of environmental quality indices; d) application of an algorithm and remote sensing techniques to obtain the distribution of surface temperature; f) ecological assessment of Vila Velha urban heat island on 16 dates between the years 2008 and 2011. The results met 20.86 km<sup>2</sup> of urban vegetation distributed in 16 classes, 42 open spaces and 09 green areas in the city and a Green Area Index (GAI) of 17.56 m<sup>2</sup>/habitant. It is yet obtained a positive correlation coefficient between the values of land surface temperature (LST) and Normalized Difference Built-up Areas Index (NDBI), was observed and recorded at least an increase of 2.34 °C urbanized areas relative to its surroundings not urbanized.

**Key words:** vegetation cover, urban forests, thermal comfort, geotechnologies.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Arquivos vetoriais poligonais auxiliares para fotointerpretação.....	28
Tabela 2 - Polígonos e representação da vegetação urbana da cidade de Vila Velha,ES.....	29
Tabela 3 - Quantificação e porcentagem das classes de vegetação da cidade de Vila Velha, ES.....	37
Tabela 4 - Dados das imagens do satélite Landsat TM 5.....	62
Tabela 5 - Dados das variáveis meteorológicas das datas das imagens analisadas.....	63
Tabela 6 - Estimativa da emissividade utilizando o valo de NDVI.....	67
Tabela 7 - Estimativa da transmitância atmosférica.....	68
Tabela 8 - Estimativa da temperatura média atmosférica.....	69
Tabela 9 - Valores limites dos índices de variação de campo térmico urbano (UTFVI).....	72
Tabela 10 - Valores médios da temperatura (°C) da superfície terrestre para áreas urbanizadas e não urbanizadas de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 e 2011.....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Vila Velha, ES.....	26
Figura 2 - Esquema representativo para classificação das áreas verdes da cidade de Vila Velha, ES.....	32
Figura 3 - Mapa da vegetação urbana da cidade de Vila Velha, ES.....	36
Figura 4 - Áreas verdes e percentual de superfície permeável na cidade de Vila Velha, ES.....	40
Figura 5 - Porcentagem de áreas verdes e espaços livres em Vila Velha, ES.....	41
Figura 6 - Índice de Sombreamento Arbóreo dos espaços livres da cidade de Vila Velha, ES.....	43
Figura 7 - Índice de Densidade Arbórea dos espaços livres da cidade de Vila Velha, ES.....	45
Figura 8 - ISA e IDA das praças classificadas como áreas verdes da cidade de Vila Velha, ES.....	46
Figura 9 - Coeficiente de correlação de Pearson entre os índices arbóreos dos espaços livres do município de Vila Velha.....	47
Figura 10 - Fluxograma metodológico para obtenção da temperatura superficial terrestre de Vila Velha, ES.....	64
Figura 11 - Distribuição da temperatura da superfície terrestre para o município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 e 2011.....	74
Figura 12 - Proporções da distribuição das classes de temperatura da superfície terrestre entre os anos de 2008 e 2011, para o município de Vila Velha, ES .....	76
Figura 13 - Avaliação ecológica das ilhas de calor no município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 e 2011.....	78
Figura 14 - Proporções da avaliação ecológica das ilhas de calor no município de Vila velha, ES entre os anos de 2008 e 2011.....	78
Figura 15 - Coeficiente de correlação de Pearson entre Temperatura da Superfície Terrestre (Ts), NDVI, NDBI para o município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 e 2011.....	80

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Índice de Áreas Verdes.....	33
Equação 2 - Índice de Sombreamento Arbóreo.....	33
Equação 3 - Índice de Densidade Arbórea.....	34
Equação 4 - Radiância espectral no sensor.....	64
Equação 5 - Reflectância medida ao nível do satélite.....	65
Equação 6 - Temperatura de brilho no sensor.....	65
Equação 7 - Constante de calibração.....	65
Equação 8 - Constante de calibração.....	66
Equação 9 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	66
Equação 10 - Emissividade da superfície terrestre.....	66
Equação 11 - Teor de vapor de água na atmosfera.....	67
Equação 12 - Transmitância atmosférica.....	68
Equação 13 - Temperatura atmosférica.....	69
Equação 14 - Temperatura da superfície terrestre.....	69
Equação 15 - Constante “a” .....	69
Equação 16 - Constante “b” .....	69
Equação 17 - Valor “C” .....	69
Equação 18 - Valor “D” .....	69
Equação 19 - Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada.....	70
Equação 20 - Coeficiente de correlação de Pearson.....	71
Equação 21 - Índice de Variação de Campo Térmico Urbano.....	71

## SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO GERAL .....	15
1.1 Objetivo geral .....	17
1.2 Objetivos específicos .....	17
II CAPÍTULOS .....	18
CAPÍTULO I – MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA DA CIDADE DE VILA VELHA, ES.	
1 INTRODUÇÃO .....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	21
2.1 Geotecnologias aplicadas no mapeamento de recursos naturais .....	21
2.2 Vegetação urbana .....	22
2.3 Áreas verdes urbanas .....	23
2.4 Índices de arborização .....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
3.1 Área de estudo .....	26
3.2 Banco de dados .....	27
3.3 Mapeamento da vegetação urbana .....	28
3.4 Índices de arborização .....	30
3.4.1 Índice de áreas verdes .....	30
3.4.1 Índice de sombreamento arbóreo .....	33
3.4.1 Índice de densidade arbórea .....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1. Mapeamento da vegetação urbana da cidade de Vila velha, ES .....	35
4.2. Áreas verdes .....	38
4.2.1. Índice de Áreas Verdes .....	42
4.3. Índices de Densidade e Sombreamento Arbóreos .....	42
5 CONCLUSÕES .....	48
6 REFERÊNCIAS .....	49
CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA, ES.	
1 INTRODUÇÃO .....	54

2 REVISÃO DE LITERATURA .....	56
2.1 Ilhas de calor.....	56
2.2 Temperatura da superfície terrestre.....	56
2.3 Vegetação urbana como amenizador das ilhas de calor.....	57
2.4 Geotecnologias aplicadas na detecção das ilhas de calor.....	59
2.5 Índices de vegetação e de áreas construídas por diferença normalizada.....	60
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	61
3.1 Área de estudo.....	61
3.2 Banco de dados .....	61
3.3 Obtenção da Temperatura da superfície terrestre .....	63
3.3.1 Conversão do número digital (DN) para radiância espectral .....	64
3.3.2 Conversão da radiância espectral para temperatura de brilho no sensor ..	65
3.3.3 Cálculo da emissividade da superfície terrestre .....	66
3.3.4 Cálculo da transmitância atmosférica .....	67
3.3.5. Cálculo da temperatura média atmosférica .....	68
3.3.6 Algoritmo mono-window.....	69
3.4 Análises estatísticas.....	70
3.4.1 Correlação de pearson entre temperatura da superfície terrestre (Ts), NDVI e NDBI .....	70
3.4.2 Teste de médias .....	71
3.5 Avaliação ecológica .....	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1 Distribuição espacial e temporal das ilhas de calor.....	73
4.2 Avaliação ecológica das ilha de calor .....	77
4.3 Análise da correlação entre a Temperatura da Superfície Terrestre (Ts), NDVI e NDBI .....	81
4.4 Avaliação térmica das ilhas de calor .....	83
5 CONCLUSÕES .....	86
6 REFERÊNCIAS.....	87
III CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	91

## I – INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da urbanização está destruindo ecossistemas naturais e reduzindo a qualidade ambiental das cidades (ALBERTI e MARZLUFF, 2004). Nas últimas décadas, as taxas de urbanização têm se intensificado no mundo.

Atualmente mais da metade da população mundial vive em cidades, sendo que 10% vivem em metrópoles de mais de 10 milhões de habitantes (ONU, 2010). Em 2050, esse índice estará próximo de 75% (ROBERTS, 2011).

Muitas cidades têm vivenciado um crescimento sem precedentes, acompanhado por severa degradação e alteração de diversos fatores ambientais, como aumento das variáveis ruído, temperatura, poluição do ar, erosão do solo, perda de habitat, extinção de espécies (YOUNG, 2010).

Estudiosos e gestores políticos começaram a direcionar sua atenção para avaliar o potencial da floresta urbana em mitigar os impactos no meio ambiente (NEWMAN e JENNINGS, 2008).

O acesso a ambientes arborizados no interior das cidades é uma necessidade humana fundamental (THOMPSON, 2002), sendo que a inclusão de áreas verdes no planejamento das cidades tem se tornado um direito do cidadão (SANESI e CHIARELLO, 2006), que pode, a partir daí, desfrutar das funções psicológicas, sociais, ecológicas, estéticas e educativas que estas áreas exercem no meio urbano.

A presença da vegetação nas áreas urbanas é uma das principais estratégias para reduzir o efeito das ilhas de calor (YU e HIEN, 2006), pois a presença da vegetação de parques e bosques pode gerar um resfriamento localizado, fenômeno conhecido como “ilha de amenização” que se contrapõe ao fenômeno da ilha de calor (SHASHUA-BAR et al., 2009). Entender e quantificar o impacto das árvores urbanas no clima é um importante pré-requisito para gerenciar a vegetação urbana e otimizar os efeitos benéficos destas florestas (ANYANWU e KANU, 2006).

Por meio do controle da poluição atmosférica e de outras funções (por exemplo, a redução da temperatura do ar), a arborização urbana pode contribuir para a melhoria da qualidade do ar, quanto aos poluentes atmosféricos em diferentes cidades e, conseqüentemente, promover benefícios à saúde humana. O percentual de melhorias na qualidade do ar dado a remoção de poluentes por árvores urbanas são modestos, mas pode ser potencializado por meio do aumento da cobertura do dossel de árvores urbanas (NOWAK et al., 2006).

Os termos áreas verdes, cobertura vegetal, espaços livres, arborização urbana e verde urbano, têm sido frequentemente utilizados no meio científico com o mesmo significado, para designar a vegetação intraurbana. No entanto, pode-se considerar que a maioria deles não são sinônimos e tampouco se referem aos mesmos elementos.

Segundo Bargas (2010), as áreas verdes urbanas são uma categoria de espaço livre urbano composta por vegetação arbórea e arbustiva (inclusive pelas árvores das vias públicas, desde que estas atinjam um raio de influência que as capacite a exercer as funções de uma área verde), com solo livre de edificações ou coberturas impermeabilizantes (em pelo menos 70% da área), de acesso público ou não, e que exerçam minimamente as funções ecológicas (aumento do conforto térmico, controle da poluição do ar e acústica, interceptação das águas das chuvas, e abrigo à fauna), estéticas (valorização visual e ornamental do ambiente e diversificação da paisagem construída) e de lazer (recreação).

Com 458.489 habitantes, Vila Velha é a cidade mais populosa do estado do Espírito Santo, segundo estimativa feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013). O aumento populacional de Vila Velha entre os anos de 1991 e 2013 foi de aproximadamente 70%.

Há décadas, a cidade vem sofrendo alterações na estrutura da paisagem e no uso da terra. Como exemplos, destacam-se o crescimento vertical das edificações em função do crescimento populacional o aumento da malha rodoviária em diversos setores (SIQUEIRA, 2001), que modificam o fluxo natural dos ventos e o balanço de radiação e energia, pois revestem a superfície terrestre com materiais impermeáveis e muitas vezes suprimem a vegetação nas vias públicas.

Diante do exposto, uma ferramenta viável para o estudo da qualidade ambiental da população é a utilização de geotecnologias, que auxiliam na espacialização da vegetação urbana das cidades, possibilitando a geração dos índices de qualidade ambiental, que representam a relação entre o valor das áreas cobertas por vegetação que compõem a cidade e o número de habitantes da mesma, bem como permitem a identificação de áreas verdes passíveis de análise e avaliação.



### 1.1 Objetivo geral

O objetivo do presente estudo é mapear e classificar a vegetação urbana da cidade de Vila Velha, localizada na região metropolitana da Grande Vitória, ES, e analisar os benefícios por ela proporcionados, sobretudo em relação ao efeito nas ilhas de calor urbanas.

### 1.2 Objetivos específicos

- Mapear a Vegetação Urbana da cidade de Vila Velha, ES; e
- Avaliar a distribuição espacial e temporal das ilhas de calor do município de Vila Velha, ES;

## **II – CAPÍTULOS**

**CAPÍTULO I – MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA DA CIDADE DE VILA VELHA, ES.**

**CAPÍTULO II – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA, ES.**

## **CAPÍTULO I – MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO URBANA DA CIDADE DE VILA VELHA, ES.**

### **1 INTRODUÇÃO**

Considerando as cidades brasileiras, Carneiro e Mesquita (2000) afirmam inexistir práticas consagradas do tratamento da paisagem urbana como um todo, incluindo os espaços livres. Identificam ainda que os planos diretores urbanos, comumente, dispõem como áreas livres os espaços residuais em meio às edificações, contribuindo para má distribuição e configuração das cidades.

A falta de planejamento socioambiental, como exemplo o crescimento desordenado das cidades litorâneas brasileiras, têm trazido muitos danos ao ambiente e conduzido à perda de qualidade ambiental, como é observado no município de Vila Velha, ES (OLIVEIRA e LIMA, 2003).

Vila Velha é conhecida como a cidade mais antiga e mais populosa do estado do Espírito Santo, cidade litorânea, localizada ao Sul da capital, consolidou-se em um território ambientalmente fragilizado onde as estruturas urbanas destruíram a maior parte de seus elementos naturais, promovendo alterações na paisagem natural em função de uma nova paisagem construída (SIQUEIRA, 2001).

Essa transformação tem-se intensificado nos últimos cinquenta anos devido, principalmente, a questões econômicas enfrentadas pelo município além de seu intenso crescimento populacional, colaborando com uma ocupação do território onde o planejamento urbano não foi capaz de controlar e prevenir que áreas impróprias à ocupação fossem habitadas. Ainda que haja, atualmente, um aparato legal que oriente a ordenação do território, o crescimento pelo qual passou o município e que ainda se anuncia, demonstra um grande conflito entre os espaços construídos, os espaços livres e as áreas naturais (GARCIA, 2011)

A presença de vegetação nas cidades é essencial na estrutura e dinâmica da paisagem urbana, pois devido às suas características, melhora a qualidade de vida da população e a condição ambiental das cidades. (LIMA NETO, 2011)

É inquestionável o papel das árvores no bem-estar das comunidades urbanas. Sua capacidade única de controlar efeitos adversos do meio urbano contribui para uma significativa melhoria da qualidade de vida (VOLPE-FILIK et al., 2007). Neste

sentido, uma cidade arborizada é vista e lembrada como uma cidade agradável e bonita (MATOS e QUEIROZ, 2009).

Diante do exposto, o presente estudo, visa conhecer a situação em que se encontra a distribuição da vegetação urbana da cidade de Vila velha, mapeando-a e classificando-a em diferentes classes de vegetação, bem como, identificar áreas verdes no município e gerar índices de qualidade ambiental, utilizando geotecnologias.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Geotecnologias aplicadas no mapeamento de recursos naturais

Para analisar os padrões de estrutura espacial da cobertura vegetal intraurbana, têm sido utilizados Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) (SOUZA et al., 2013).

Segundo Alvarez (2004), os SIG's são ferramentas computacionais para geoprocessamento que permitem identificar características com precisão geográfica. Entre as técnicas relacionadas aos estudos ambientais, a fotointerpretação é um importante subsídio para tomada de decisões, pois permite identificar e caracterizar diferentes áreas por meio da interpretação dos resultados, com base em imagens de alta resolução.

De acordo com Baseggio et al.(2006), levantamentos sobre recursos naturais e uso da terra são de fundamental importância como subsídios ao planejamento, monitoramento e controle do processo de ocupação do solo. O mesmo autor afirma que o sensoriamento remoto orbital tem se mostrado uma ferramenta eficaz para pesquisas dessa natureza, uma vez que possibilita em curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações. Afirma ainda que aliado ao geoprocessamento, o sensoriamento remoto constitui uma tecnologia imprescindível ao estudo e análise de variações ambientais terrestres.

As pesquisas com enfoque físico-ambiental e o emprego de geotecnologias possuem relevância no escopo das geociências, pois, a partir delas, é possível entender as condições gerais da dinâmica da paisagem, contribuindo para o desenvolvimento de prognósticos e interpretações geoambientais (LANG et al., 2009).

Para Nogueira (1997), os sistemas de informações geográficas mostram-se uma ferramenta útil para orientar o gerenciamento ambiental e para promover a localização exata de informações necessárias, por meio de consulta a banco de dados, e que incluem ferramentas para analisar dados baseados em seu posicionamento global.

A ideia de integrar Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas para estruturar e manipular bases de dados tem auxiliado a tarefa de mapeamento de habitats de várias espécies florísticas e faunísticas. Segundo Crósta (1992), a utilização de imagens de sensoriamento remoto no monitoramento ambiental

em escalas locais e globais é viável principalmente pela rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica.

## 2.2 Vegetação urbana

“Equilíbrio ambiental”, “cidades sustentáveis”, “efeitos negativos sobre o meio ambiente”, “poluição e degradação ambiental”, “limites da sustentabilidade ambiental” e “proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural”, entre outros encontrados no Estatuto da Cidade, são temas que dizem respeito, necessariamente, ao “verde urbano” que, apesar de sua importância, não se apresenta como uma necessidade óbvia na cena urbana, sendo negligenciado no planejamento do desenvolvimento das cidades (BUCCHERI FILHO e NUCCI, 2006). Todavia, a necessidade que o homem tem de vegetação extrapola um valor meramente sentimental ou estético (MONTEIRO, 1976), desempenhando um importante papel nas áreas urbanizadas no que se refere à qualidade ambiental (LOMBARDO, 1990).

As florestas urbanas afetam a qualidade do ar local e regional e o dióxido de carbono atmosférico de muitas formas, e diversas estratégias e projetos estão sendo pesquisados para maximizar a melhoria da qualidade do ar e minimizar as concentrações de gases de efeito estufa (ANYANWU, 2006). O autor afirma ainda que a transpiração das árvores e a copa das mesmas afetam a temperatura do ar, a absorção de radiação e armazenamento de calor, a velocidade do vento, a umidade relativa, o albedo da superfície, a rugosidade da superfície, dentre outros fatores. Essas mudanças no microclima podem alterar a concentração de poluentes nas áreas urbanas.

A arborização é um dos componentes bióticos mais importantes do meio urbano porque está diretamente relacionada com o conforto ambiental (BIONDI, 2008). Outro benefício significativo da presença da arborização urbana é a capacidade de interceptação das chuvas, que reduz a taxa e o volume das enxurradas causadas pelas tempestades, contribuindo para o ciclo hidrológico e redistribuição da umidade (McPHERSON e SIMPSON, 2002).

A quantificação e a configuração espacial do “verde urbano” podem ser utilizadas como instrumentos e parâmetros de avaliação da qualidade ambiental em áreas urbanas (NUCCI e CAVALHEIRO, 1999; NUCCI, 2001).

### 2.3 Áreas verdes urbanas

O acesso a alguma forma de “natureza” no interior das cidades é uma necessidade humana fundamental (THOMPSON, 2002), sendo que a inclusão de áreas verdes no planejamento das cidades tem se tornado um direito do cidadão (SANESI; CHIARELLO, 2006), que pode a partir daí desfrutar das funções psicológicas, sociais, ecológicas, estéticas e educativas que estas áreas exercem no meio urbano.

Milano (1993) define áreas verdes urbanas como áreas livres na cidade, com características predominantemente naturais, independente do porte de vegetação. Paiva e Gonçalves (2002) afirmam que áreas verdes podem ser de propriedade pública ou privada e que devem apresentar algum tipo de vegetação (não somente árvores) com dimensão vertical significativa e que sejam utilizadas com objetivos sociais, ecológicos, científicos ou culturais. Loboda e Angelis (2005) alertam que a vegetação (árvores) que acompanham o leito das vias públicas não devem ser consideradas como áreas verdes, pois as calçadas são impermeabilizadas.

Cavalheiro et al. (1999) afirmam que área verde é um tipo especial de espaços livres onde o elemento fundamental de composição é a vegetação. Lima et al. (1994) afirmam que área verde é uma categoria de espaço livre, desde que haja predominância de vegetação arbórea, como por exemplo: praças, jardins públicos e parques urbanos.

As diferentes definições do termo área verde dificultam uma análise comparativa entre os índices de áreas verdes para as diferentes cidades, visto que estes índices dependem da concepção do termo área verde que podem levar em consideração em seus cálculos áreas de espaços públicos ou particulares, permeáveis ou não, unidades de conservação ambiental, verde de acompanhamento viário e, até mesmo, arborização de ruas. (FREITAS-LIMA; CAVALHEIRO, 2003).

CAVALHEIRO et al. (1999) sugeriram os seguintes tópicos para uma tentativa de padronização de conceitos: primeiramente deve-se entender que a legislação brasileira estabelece que o município está dividido em zona urbana, de expansão urbana e zona rural. A zona urbana, cujo perímetro é declarado por lei municipal, embora não explicitamente colocada na legislação, estaria constituída por três sistemas:

- Sistema de espaços com construções (habitação, indústria, comércio, hospitais, escolas, entre outros);
- Sistema de espaços livres de construção (praças, parques, águas superficiais, entre outros); e
- Sistema de espaços de integração urbana (rede rodoferroviária).

O espaço livre de construção é definido como espaço urbano ao ar livre, destinado a todo tipo de utilização que se relacione com caminhadas, descanso, passeios, práticas de esportes e, em geral, a recreação e entretenimento em horas de ócio; os locais de passeios a pé devem oferecer segurança e comodidade com separação total da calçada em relação aos veículos; os caminhos devem ser agradáveis, variados e pitorescos; os locais onde as pessoas se locomovem por meios motorizados não devem ser considerados como espaços livres. Os espaços livres podem ser privados, potencialmente coletivos ou públicos e podem desempenhar, principalmente, funções estética, de lazer e ecológico-ambiental, entre outras (CAVALHEIRO et al., 1999).

Loboda e Angelis (2005) afirmam que as áreas verdes urbanas contribuem para a melhoria da qualidade de vida urbana. Segundo Gomes (2004) as áreas verdes podem proporcionar conforto térmico, visto que essas superfícies verdes interferem na formação de microclimas.

Troppmair e Galina (2003) enfatizam as seguintes vantagens das áreas verdes:

- a) Criação de microclima mais ameno que exerce função de centro de alta pressão e se reflete de forma marcante sobre a dinâmica da ilha de calor e do domo de poluição;
- b) Despoluição do ar de partículas sólidas e gasosas, dependendo do aparelho foliar, rugosidade da casca, porte e idade das espécies arbóreas;
- c) Redução da poluição sonora, especialmente por espécies aciculiformes (pinheiros) que podem acusar redução de 6 a 8 decibéis;
- d) Purificação do ar pela redução de microorganismos.
- e) Redução da intensidade do vento canalizado em avenidas cercadas por prédios; e
- f) Vegetação como moldura e composição da paisagem junto a monumentos e edificações históricas.



## 2.4 Índices de arborização

Diversos são os índices elaborados e utilizados, que quantificam e avaliam a vegetação urbana, sobretudo em trabalhos científicos relacionados à qualidade ambiental nas cidades.

A falta de clareza e consenso para a definição das terminologias e classificações da vegetação, no ambiente urbano, afeta os cálculos desses índices, já que os mesmos são feitos conforme os interesses das pesquisas e estudos nos quais são elaborados. Assim, diferentes índices, podem ser entendidos, equivocadamente, por outros pesquisadores, como sinônimos. Isso pode gerar medidas aparentemente iguais, mas utilizando elementos diferentes, não sendo corretas as comparações entre diferentes cidades e países (CAPORUSSO e MATIAS, 2008).

Um dos indicadores mais utilizados é o Índice de Áreas Verdes (IAV). Caporusso e Matias (2008) denotam que este é um tipo de cálculo considerado simplificado, pois é o resultado da divisão entre o somatório das áreas verdes e o número de habitantes, significando que esse índice é sempre dependente de fatores demográficos. Nesta perspectiva, o IAV pode ser elevado em certas localidades, não pela quantidade de áreas verdes, mas pela menor quantidade populacional no local.

A Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (1996) propôs, na Carta de Londrina e Ibiporã, o valor de 15 m<sup>2</sup>/habitante, como sendo o mínimo de áreas verdes para assegurar a qualidade de vida, sendo este valor geralmente utilizado como referência em trabalhos.

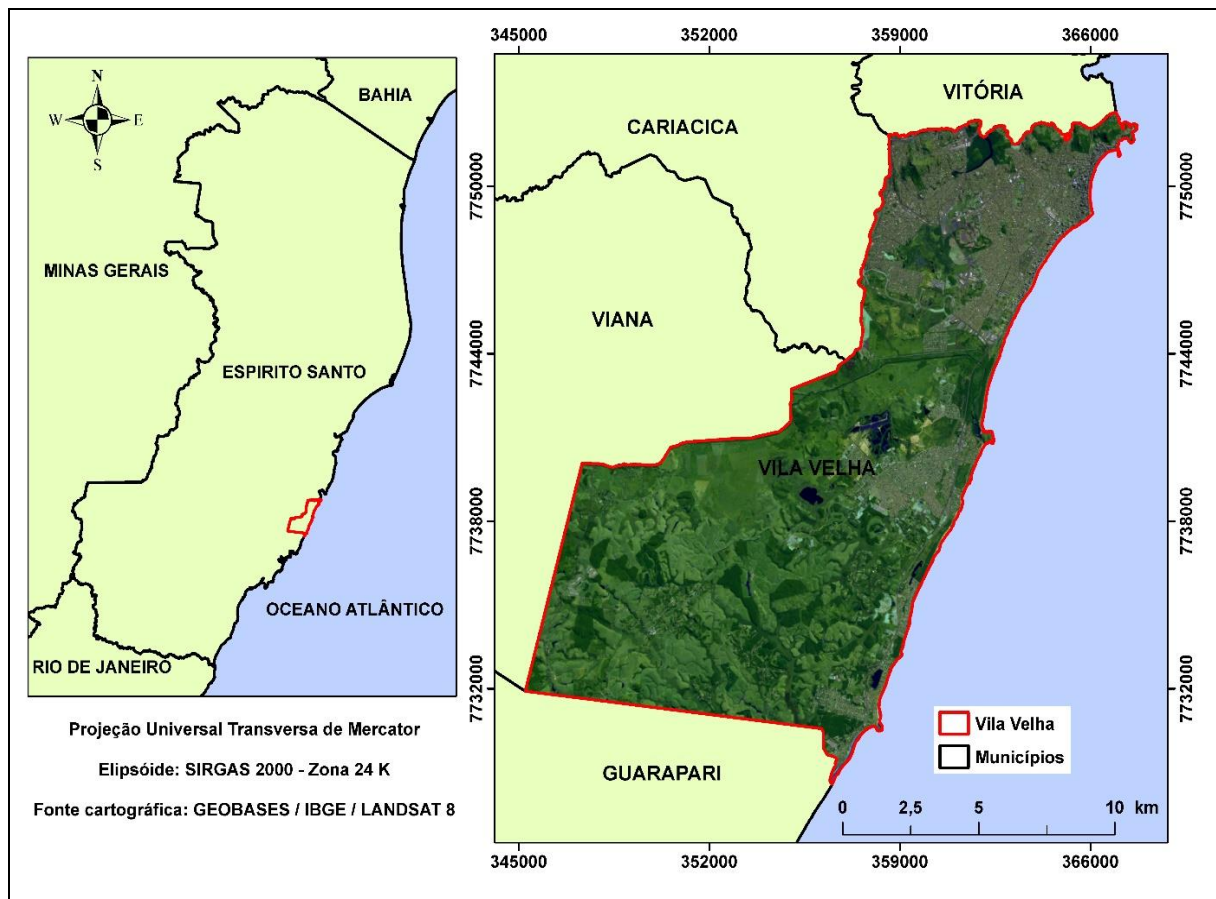
Na perspectiva de melhoria da qualidade ambiental, Simões et al. (2001) delineou os Índice de Densidade Arbórea (IDA) e Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA), para estudar a estrutura e condições da arborização urbana no bairro Vila Isabel, município do Rio de Janeiro, RJ. O autor destaca que, para os bairros com predomínio de atividades comerciais, recomenda-se um ISA a partir de 30%. Já para os bairros com função residencial, o valor recomendado é a partir de 50%. O Índice de Densidade Arbórea (IDA) expressa a situação da área verde quando há carência ou abundância de vegetação arbórea, desse modo, torna-se importante adotá-lo na concepção de projetos de arborização urbana, sendo que o valor ideal para IDA é de 7 a 10 indivíduos para cada 100m<sup>2</sup> de área.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado nas áreas urbanizadas da cidade de Vila Velha, estado do Espírito Santo, pertencente à Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), situada entre as latitudes de 20° 19' e 20° 32' Sul e longitudes de 40° 16' e 40° 24' Oeste. Estas áreas urbanizadas (área de estudo) representam 49,35 km<sup>2</sup>, e a área total do município é de 129,86 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Figura 1 – Localização do município de Vila Velha, ES.



Fonte: o autor.

A cidade de Vila Velha está inteiramente localizada no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2013), sendo a vegetação típica de floresta tropical, com presença de áreas de mangue e restinga (PMVV, 2013). O clima é tipo Aw, Tropical Úmido com Inverno seco, segundo a classificação de Köppen (1928), apresentando temperatura média

anual em torno de 24,7°C e precipitações pluviométricas distribuídas entre os meses de outubro e janeiro (INMET, 2013).

### 3.2 Banco de dados

Para elaboração do mapa de vegetação urbana da cidade de Vila Velha foram realizadas as digitalizações em tela de 26 imagens, cada uma abrangendo uma área de 6,25 km<sup>2</sup> de visualização, referentes ao ano de 2013 oriundas do satélite GeoEye, com resolução espacial de 0,41 m, e obtidas pelo aplicativo computacional *Google Maps Downloader*.

Visando aumentar o poder de decisão e melhor definição das características das classes de vegetação urbana durante o processo de fotointerpretação, foram adquiridos e adicionados às imagens, arquivos vetoriais poligonais disponibilizados pelo Instituto Jones dos Santos Neves para o estado do Espírito Santo. Os respectivos arquivos, bem como o ano de publicação dos mesmos, encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Arquivos vetoriais poligonais auxiliares para fotointerpretação

<b>Arquivos Shapefile</b>	<b>Ano</b>
Limite entre Comunidades	1994
Ottobacias Hidrográficas	2008
Área Efetivamente Urbanizada	2010
Eixo de Logradouro	2010
Aeródromos	2010
Equipamentos de Ensino	2010
Equipamentos de Saúde	2010
Equipamentos de Segurança	2010
Equipamentos de Assistência Social	2010
Limite entre Macrorregiões	2010
Limite entre Microrregiões	2010
Sistema de Dutos	2010
Sistema Ferroviário	2010
Sistema Rodoviário	2010
Mapeamento Geomorfológico	2012
Cemitérios	2010
Limite entre Bairros nos Municípios	2012
Limite Distrital	2013
Limite Municipal	2013

Fonte: o autor.

### 3.3 Mapeamento da vegetação urbana

Visando conhecer a distribuição da vegetação urbana da cidade de Vila Velha e gerar o mapeamento da mesma, foram identificados e espacializados 16 polígonos referentes aos tipos de vegetação e seus limites, conforme descritos na Tabela 2.

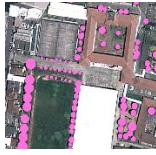





A digitalização das feições e características desejadas foram realizadas utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto no aplicativo computacional *ArcGIS 10.2* e durante o processo da fotointerpretação via tela na escala 1:1.000 m, foram considerados elementos como forma, tamanho, padrão, textura e tonalidade, identificando maciços verdes, espaços livres e árvores individuais baseado no diâmetro das copas

Tabela 2 – Polígonos e representação da vegetação urbana da cidade de Vila Velha, ES

FEIÇÃO	DESCRIÇÃO	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
1. Limites de parques	Contorno das áreas dos parques	
2. Árvores de parques	Árvores isoladas presentes nos parques urbanos	
3. Gramado de parques	Piso gramado dos parques urbanos	
4. Fragmentos de parques	Maciços de vegetação presentes nos parques urbanos	
5. Limites de praças	Contorno das áreas das praças	
6. Árvores de praças	Árvores isoladas presentes nas praças	
7. Gramado de praças	Piso gramado nas praças	
8. Fragmentos de praças	Conjunto de árvores que formam maciços de vegetação presentes nas praças	
9. Arborização da orla	Árvores isoladas presentes na orla marítima	
10. Arborização viária	Árvores de acompanhamento viário de calçadas e canteiros	

Continua...

Tabela 2, continuação:

11. Arborização privada	Arborização de instituições de ensino, saúde, segurança, assistência social, industriais, comerciais e recreativos	
12. Arborização residencial	Árvores nos quintais das casas e nos conjuntos residenciais	
13. Arborização de cemitérios	Árvores isoladas presentes nos cemitérios	
14. Fragmentos florestais	Áreas de mangue, restinga e reflorestamento	
15. Gramado	Campos de futebol, canteiros, jardins públicos, trevos e rotatórias com superfície gramada	
16. Terrenos baldios	Terrenos ou lotes sem uso e ocupação da terra, inseridos na zona urbana	

Fonte: Souza (2011), adaptado pelo autor.

Após a conclusão da etapa de fotointerpretação da vegetação, em arquivos vetoriais poligonais, foram realizados os agrupamentos destes polígonos e mensuração das áreas que ocupam na cidade por meio de calculadora de mapas, possibilitando a geração do mapa de vegetação urbana da cidade de Vila Velha, ES.

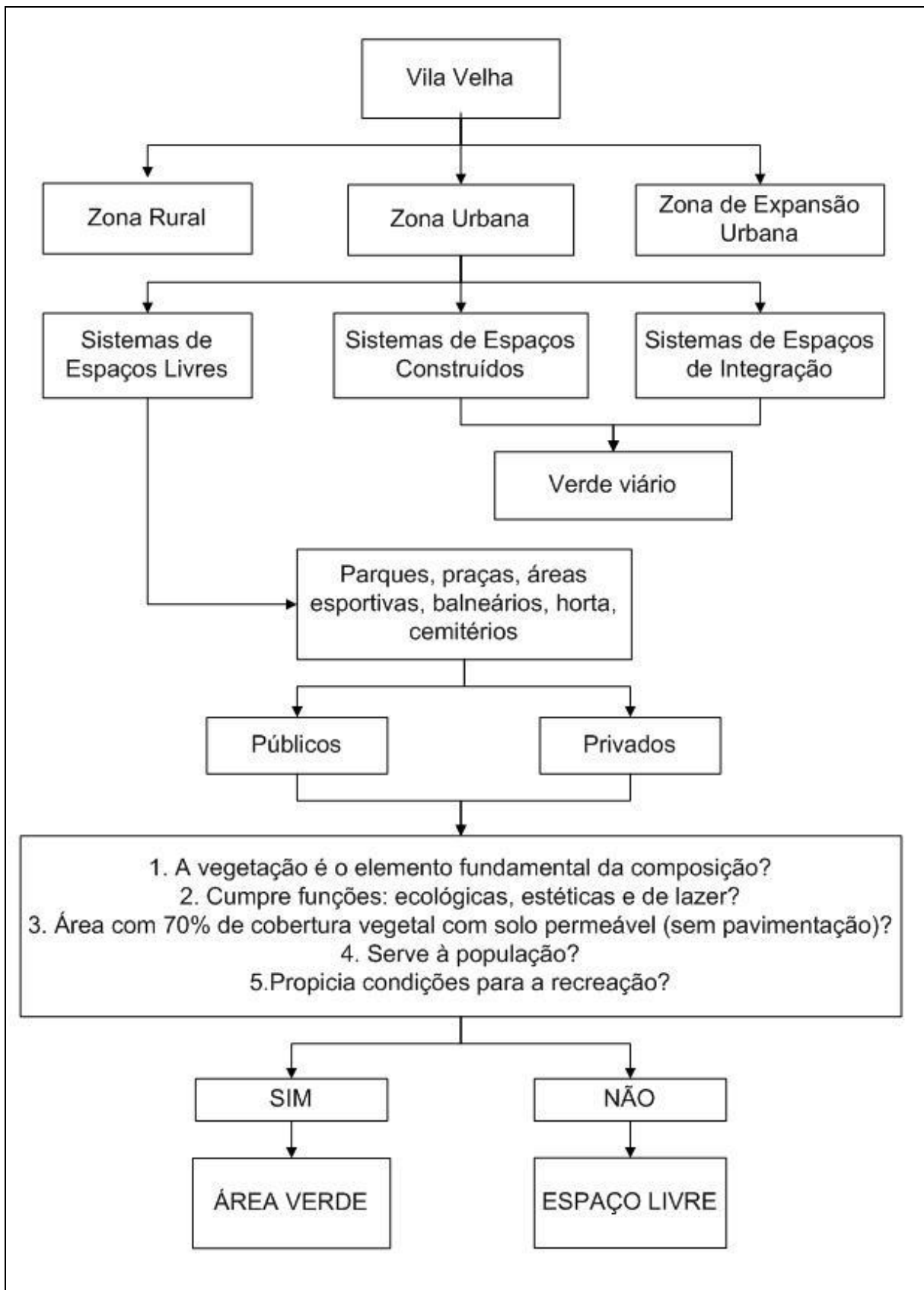
### 3.4 Índices de arborização

#### 3.4.1 Índice de Áreas Verdes (IAV)

A etapa de identificação das áreas verdes urbanas teve início com a obtenção do mapeamento da vegetação urbana da cidade de Vila Velha, pois com base nos limites e nas combinações da cobertura vegetal de cada localidade, por meio da ferramenta de calculadora de mapas, foi quantificada a porcentagem da área com solo livre de edificações ou coberturas impermeabilizantes.

A classificação proposta consiste num processo de seleção das áreas estudadas em conformidade aos critérios estabelecidos na concepção de áreas verdes adotada no presente trabalho (Figura 2).

Figura 2 – Esquema representativo para classificação das áreas verdes da cidade de Vila Velha, ES.



Fonte: Buccheri Filho e Nucci (2006), adaptado pelo autor.



De acordo com o fluxograma metodológico apresentado na Figura 2, o Índice de Áreas Verdes (IAV) foi calculado por meio da seguinte equação:

$$IAV = \frac{AV}{NH} \quad (1)$$

Em que,

IAV: índice de áreas verdes (m<sup>2</sup>/habitante);

AV: área verde (m<sup>2</sup>); e

NH: número de habitantes (habitantes).

#### 3.4.1 Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA)

O Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA) é o percentual de área sombreada em relação à área total. O resultado obtido é o potencial de sombra resultante da soma das áreas de copa arbórea, que por sua vez é estimada pela composição de polígonos delimitados no processo do mapeamento. O ISA foi calculado por meio da seguinte equação.

$$ISA = \left( \frac{As}{A} \right) \times 100 \quad (2)$$

Em que,

ISA: índice de sombreamento arbóreo (%)

As: área sombreada (m<sup>2</sup>); e

A: área total (m<sup>2</sup>).

### 3.4.1 Índice de Densidade Arbórea (IDA)

O Índice de Densidade Arbórea (IDA) é o número de árvores existentes em cada 100m<sup>2</sup>. Logo, o valor obtido representará um déficit ou abastecimento da arborização no ambiente. O IDA foi calculado por meio da seguinte equação:

$$IDA = \left( \frac{N}{A} \right) \times 100 \quad (3)$$

Em que,

IDA: índice de densidade arbórea (árvore/m<sup>2</sup>);

N: número de árvores em cada 100 m<sup>2</sup>; e

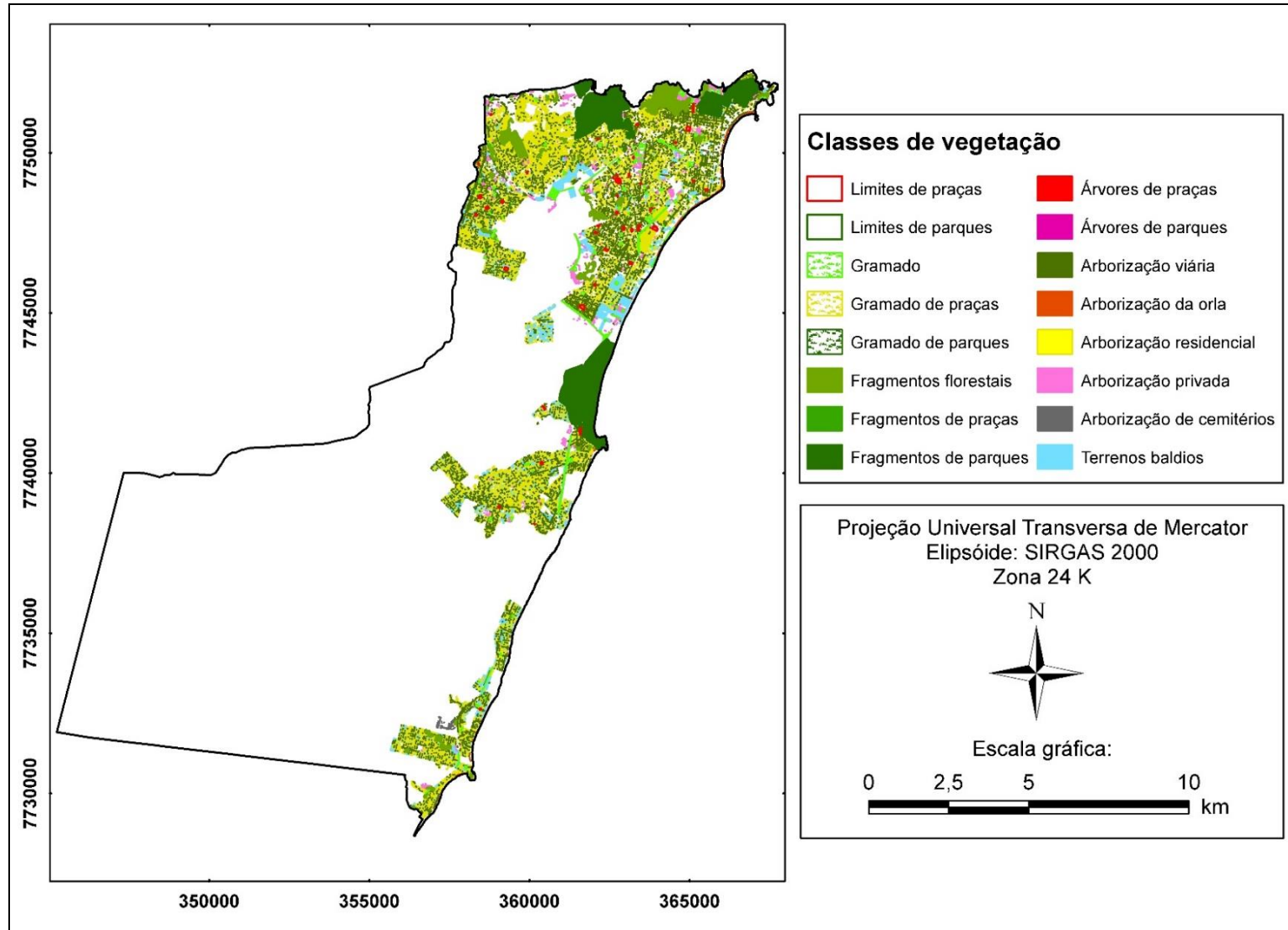
A: área total (m<sup>2</sup>).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Mapeamento da vegetação urbana da cidade de Vila velha, ES**

Uma vez estabelecidas as 16 classes de vegetação urbana presentes ao mapeamento, posterior fotointerpretação e quantificação das mesmas, obteve-se o mapa da vegetação urbana da cidade de Vila Velha, ES (Figura 3.)

Figura 3 – Mapa da vegetação urbana da cidade Vila Velha, ES.



Fonte: o autor.

A quantificação em hectares (ha) e porcentagem de cada classe de vegetação urbana, em relação à área mapeada e à área de estudo, podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantificação e porcentagem das classes de vegetação da cidade de Vila Velha, ES

<b>Classes de vegetação</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Relação à área urbanizada (%)</b>	<b>Relação à área mapeada (%)</b>
1. Limites de praças	14,89	0,30	0,71
2. Limites de parques	556,20	11,27	26,66
3. Gramado	55,24	1,12	2,65
4. Gramado de praças	2,59	0,05	0,12
5. Gramado de parques	1,30	0,03	0,06
6. Fragmentos florestais	209,05	4,24	10,02
7. Fragmentos de praça	0,48	0,01	0,02
8. Fragmentos de parques	553,16	11,21	26,51
9. Árvores de praças	3,50	0,07	0,17
10. Árvores de parques	1,75	0,04	0,08
11. Arborização viária	65,34	1,32	3,13
12. Arborização da orla	3,74	0,08	0,18
13. Arborização residencial	194,30	3,94	9,31
14. Arborização privada	26,31	0,53	1,26
15. Arborização de cemitérios	1,51	0,03	0,07
16. Terrenos baldios	397,03	8,04	19,03
Total das classes mapeadas	2086,39		
Total da área urbanizada	4935,64		

Foram identificados e mapeados 2.086,39 hectares de vegetação urbana, distribuídos em 16 classes da cidade de Vila Velha. Esse número corresponde à 42,27% da área de estudo ou áreas urbanizadas do município.

Destaca-se em relação a maior ocorrência das áreas mapeadas a classe dos limites de parques, com 556,20 hectares, representando 26,66% do total mapeado. Este número se deve, em maioria, às Unidades de Conservação e áreas protegidas do município, como podemos citar os Morro da Penha, Morro do Moreno, Parque Natural Municipal do Jacarenema, Parque Natural Municipal Morro da Mantegueira e Monumento Natural Morro do Penedo, cujos fragmentos florestais inseridos nas mesmas somam 553,16 hectares, representando 26,51% do total mapeado. Muitas destas áreas encontram-se inseridas no ambiente urbano e em constante conflito com a urbanização, sobretudo no que diz respeito à fauna e flora presentes nas mesmas.

Souza (2011) encontrou para o mapeamento da vegetação do município de Vitória, os Fragmentos florestais como a maior classe de ocorrência com 67,28% da área mapeada. Para o mapeamento da vegetação urbana de Vila Velha, esta mesma classe de Fragmentos Florestais totalizou 209,05 hectares que corresponde à 10,02% das áreas mapeadas, sendo uma das mais relevantes.

A classe Terrenos baldios, com 19,03% da área total mapeada, representa um dado importante para este estudo, pois estas áreas, foram localizadas e mapeadas sobretudo nos bairros novos e na periferia, portando ainda em desenvolvimento, retratando a continuidade do crescimento da cidade e da urbanização dos espaços anteriormente naturais.

Tratando das classes de arborização, observa-se que a arborização residencial foi a classe de maior representatividade (9,31%), seguida pelas classes de arborização viária (3,13%), arborização privada (1,26%), arborização da orla (0,18%) e arborização de cemitérios (0,07%).

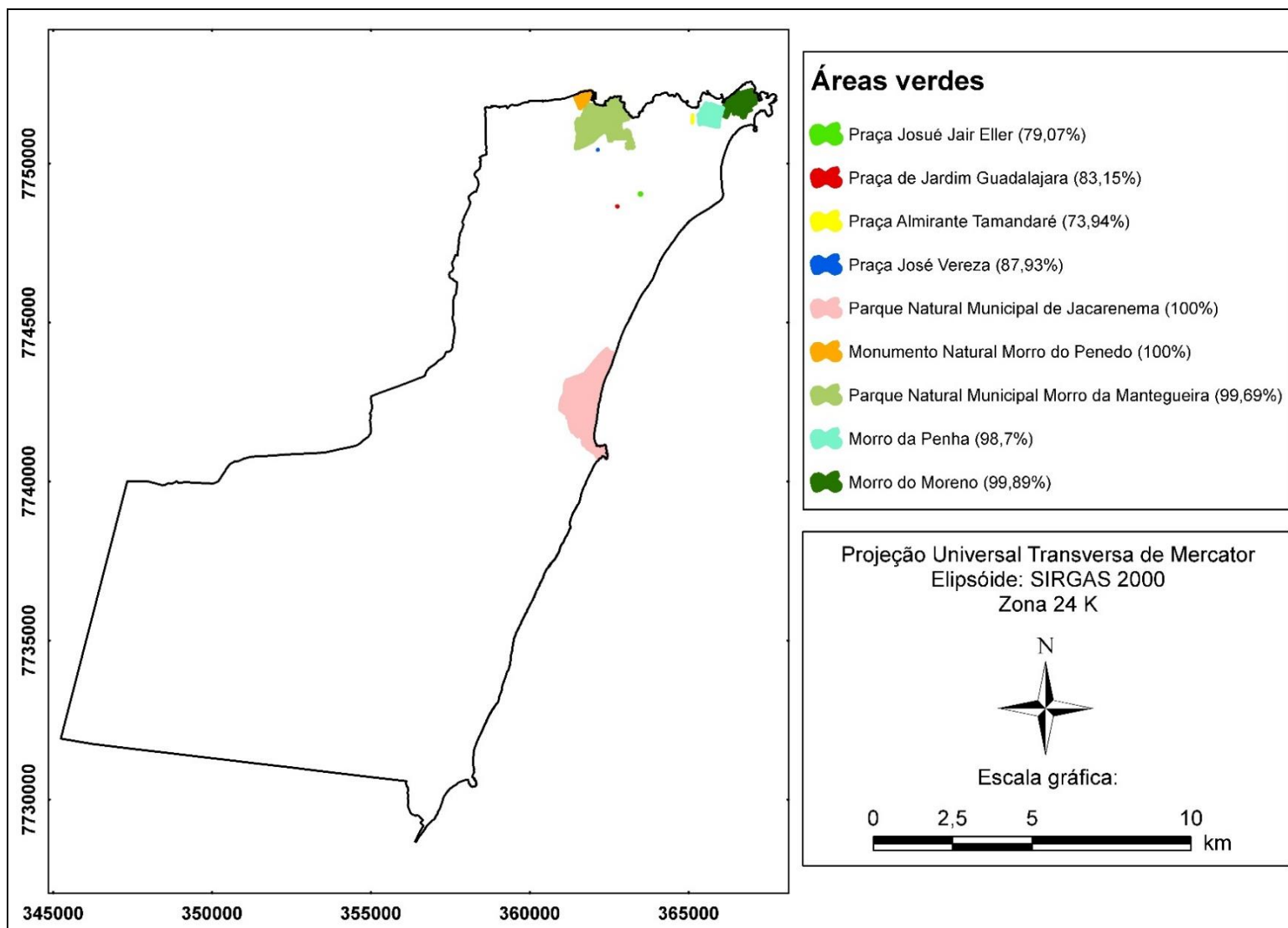
#### 4.2. Áreas verdes

No processo de identificação das áreas verdes urbanas conforme a metodologia proposta e adotada no presente trabalho, em princípio, foram fotointerpretados e registrados durante o mapeamento da vegetação urbana de Vila Velha quarenta e dois espaços livres urbanos, representados pelas classes limites de praças e limites de parques.

Assim, com o auxílio de geotecnologias foi possível obter a caracterização e distribuição das classes de vegetação urbanas presentes nestes espaços livres, sobretudo quanto ao aspecto da quantificação das superfícies permeáveis como gramado, fragmentos florestais e árvores existentes nos mesmos, tornando possível a identificação das áreas verdes da área de estudo, com base nos critérios adotados.

Feito isso, dentre os 42 (quarenta e dois) espaços livres avaliados, 09 (nove) foram classificados como áreas verdes urbanas e suas localizações na área de estudo são ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – Áreas verdes e percentual de superfície permeável na cidade de Vila Velha, ES.

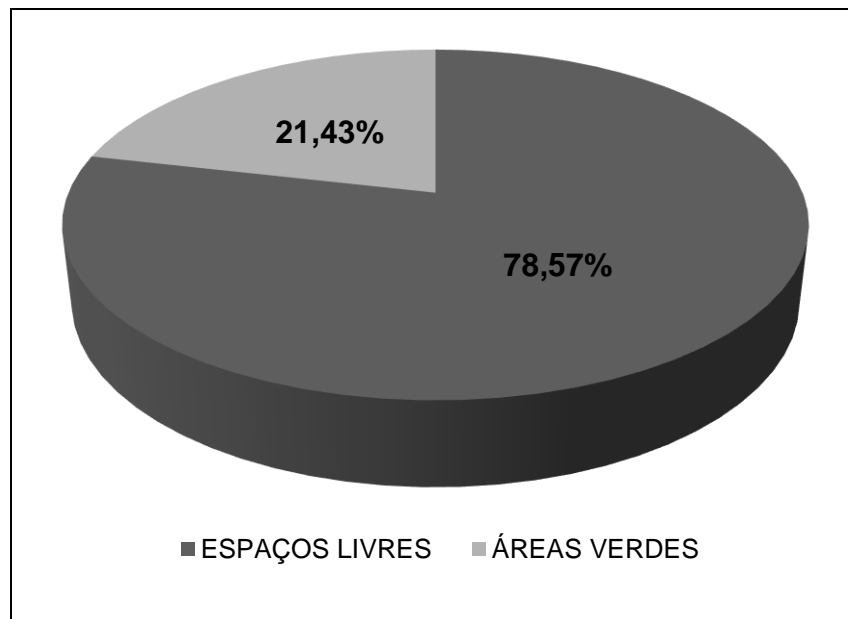


Fonte: o autor.



Logo, constata-se que as áreas verdes urbanas da cidade de Vila Velha representam apenas 21,43% do total de espaços livres do município, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Porcentagem de áreas verdes e espaços livres em Vila Velha, ES.



Fonte: o autor.

Obteve-se que 21,43% dos espaços livres da cidade de Vila Velha foram classificados como áreas verdes, esta proporção pode ser considerada baixa se comparada com estudo realizado por Buccheri Filho e Nucci (2006), no bairro Alto da XV em Curitiba, PR, onde foram encontrados 42,85% de áreas verdes dentre os espaços livres encontrados.

Este percentual de áreas verdes encontrado evidencia que a maioria das praças e parques urbanos da cidade Vila Velha, apresentam baixas concentrações de cobertura natural (piso gramado, arborização). Porém, este valor poderá aumentar se forem adotadas medidas e políticas públicas que visem a modificação do atual modelo encontrado.

Ainda pela mesma avaliação, constatou-se que, se o critério para determinação das áreas verdes em relação à porcentagem de superfície permeável fosse de 60%, teríamos 26,19% de áreas verdes na cidade, obtendo um acréscimo apenas 4,76%.

#### 4.2.1. Índice de Áreas Verdes (IAV)

O Índice de Áreas Verdes (IAV) que é a relação entre as áreas verdes e o número de habitantes do município, muito utilizado como um indicador de qualidade ambiental, obtido para Vila Velha foi de 17,56 m<sup>2</sup>/habitante.

Este valor está acima do mínimo de 15 m<sup>2</sup>/habitante para áreas verdes públicas, sugerida pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana.

Uma vez que o IAV obtido para a cidade de Vila Velha seja promissor, é importante ressaltar que este índice gera um valor para toda cidade, e não para cada rua, bairro, ou região. No presente estudo, por exemplo, as 09 áreas verdes públicas encontradas estão distribuídas por 09 bairros distintos entre os 92 existentes, ou seja, mais de 90% dos bairros e sua população não podem usufruir diariamente dos benefícios das áreas supracitadas e, portanto, não se enquadram numa situação de aumento da qualidade ambiental. Isso, reforça a importância de uma boa distribuição do sistema de áreas verdes no meio urbano.

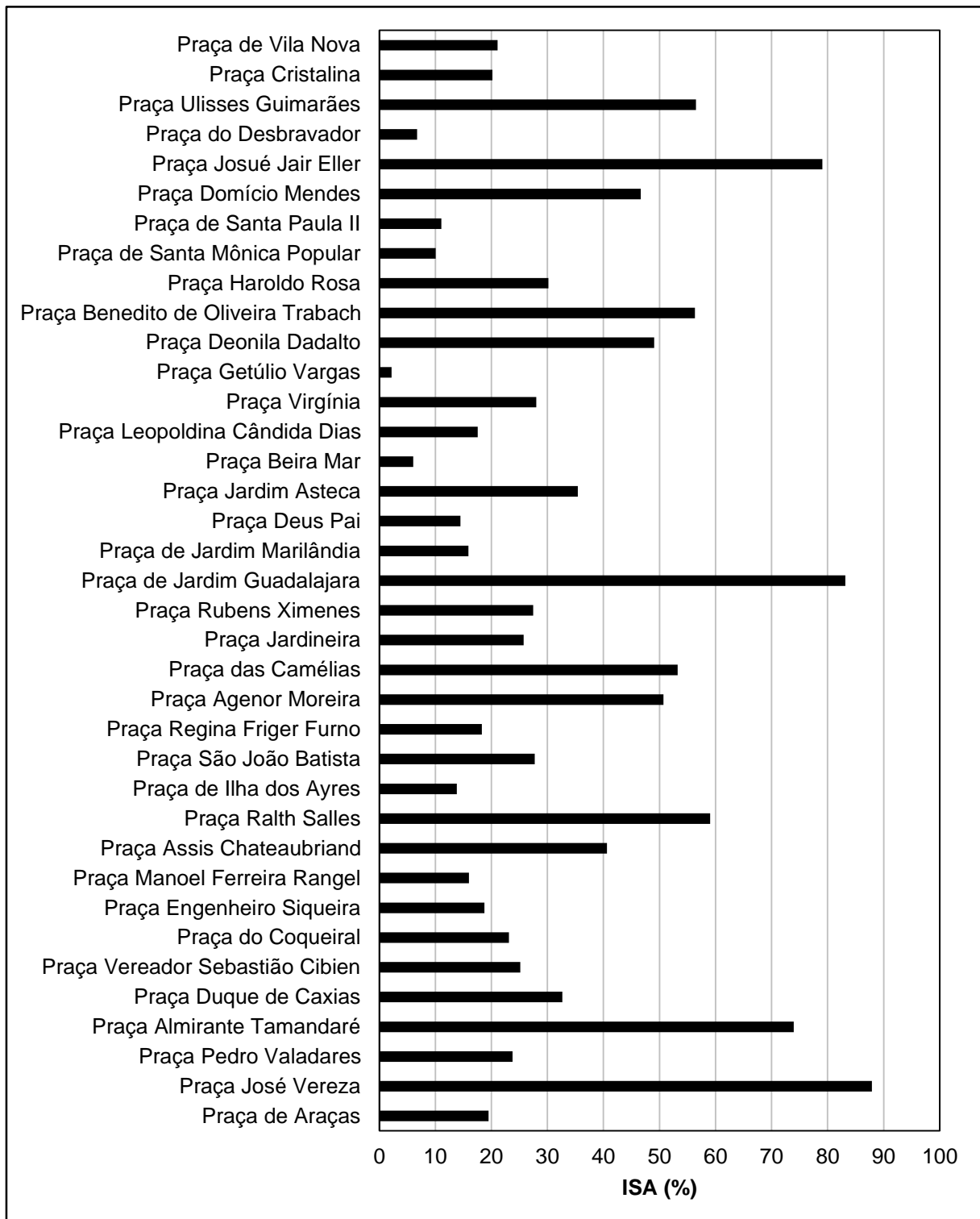
Em estudos relacionados às áreas verdes e praças públicas, Lindennaier e Santos (2008) encontraram um índice de 3,33 m<sup>2</sup>/habitante para a cidade de Cachoeira do Sul, RS, Harder et al. (2006) encontraram 2,19 m<sup>2</sup>/habitante para a cidade de Vinhedo, SP, e Souza (2011) encontrou o baixo índice de 0,91 m<sup>2</sup>/habitante para a cidade de Vitória, ES.

#### 4.3. Índices de Densidade Arbóreas (IDA) e Índice de Sombreamento Arbóreas (ISA)

Visando encontrar parâmetros para avaliação dos espaços livres mapeados, foram identificadas 37 (trinta e sete) praças públicas na cidade de Vila Velha, as quais foram avaliadas em relação aos Índice de Densidade Arbórea (IDA) e Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA).

O Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA) dos espaços livres da cidade de Vila Velha, ES é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA) dos espaços livres da cidade de Vila Velha, ES.



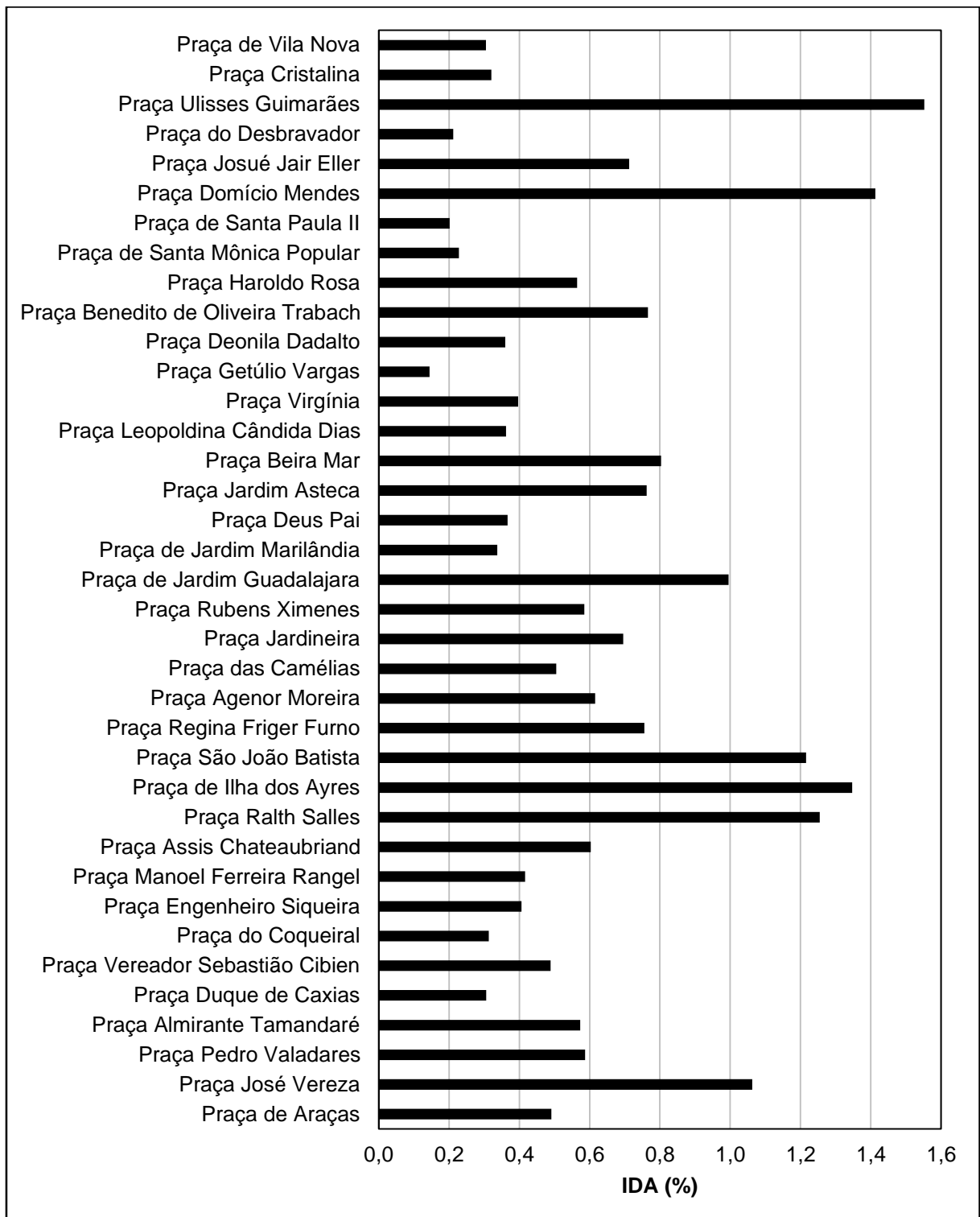
Fonte: o autor.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que 15 praças públicas (40,5%) possuem ISA acima de 30%, valor recomendado para bairros com função

comercial, sendo que apenas 09 (24,3%) destas praças possuem ISA acima de 50%, valor recomendado para bairros com função residencial, ou seja, 22 praças públicas (60,5%) e logo, a maioria, que possuem ISA abaixo de 30%, não se enquadram nos perfis ideais para bairros com características comerciais e residenciais.

O Índice de Densidade Arbórea (IDA) dos espaços livres da cidade de Vila Velha, ES é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Índice de Densidade Arbórea (IDA) dos espaços livres da cidade de Vila Velha, ES



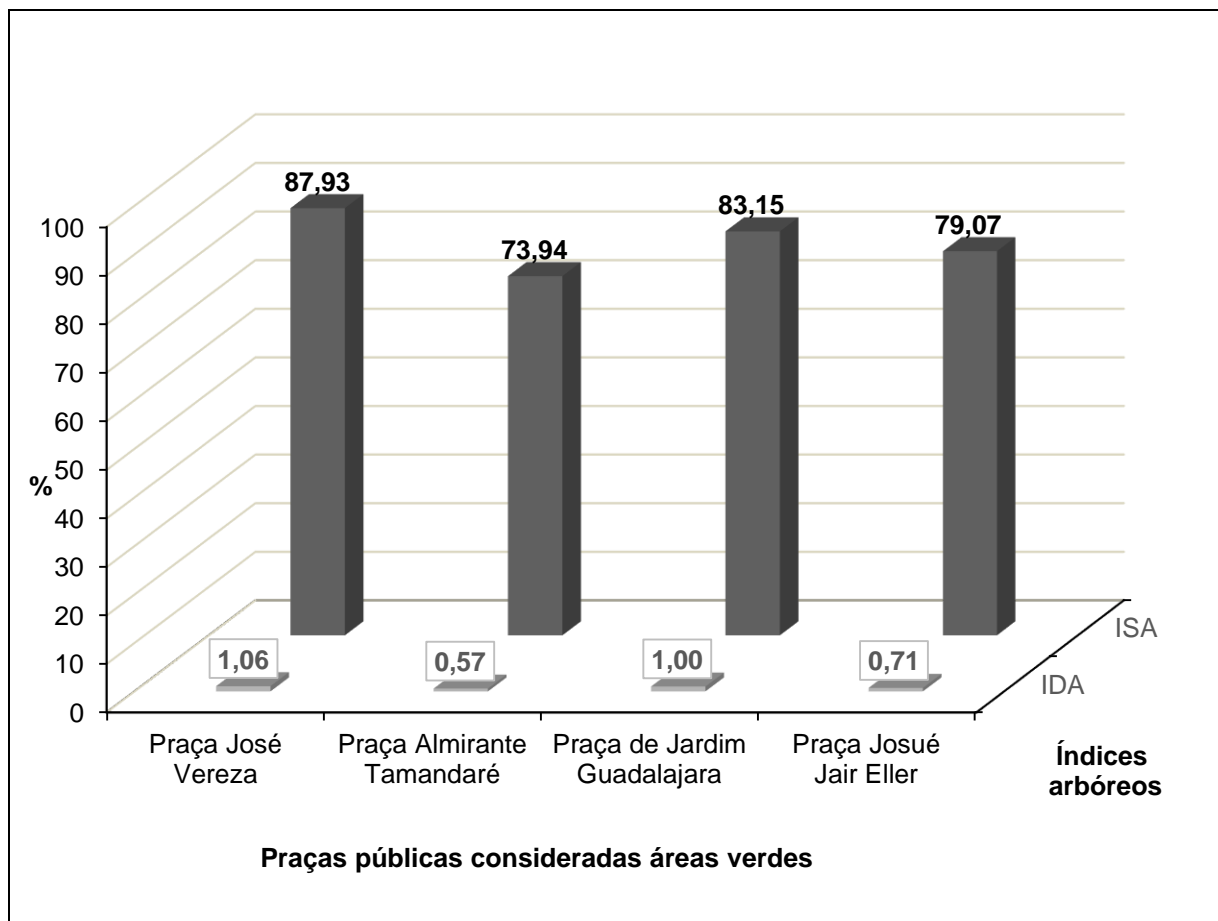
Fonte: o autor.

De acordo com os resultados, observa-se que apenas 07, aproximadamente 20% das praças públicas da cidade de Vila Velha possuem o IDA superior a 1,0, ou

seja, que possuem no mínimo 01 (uma) árvore a cada 100m<sup>2</sup> de praça. Para Simões et al., o índice considerado adequado é de 7 a 10 indivíduos para cada 100 m<sup>2</sup>. Logo, os índices encontrados no presente estudo, revelam a necessidade de implantação de indivíduos arbóreos para manutenção das áreas verdes urbanas da cidade de Vila Velha, ES.

Na Figura 8 são apresentados os índices (ISA e IDA) das praças da cidade de Vila Velha que foram consideradas áreas verdes no mapeamento realizado.

Figura 8 – ISA e IDA das praças classificadas como áreas verdes da cidade de Vila Velha, ES.



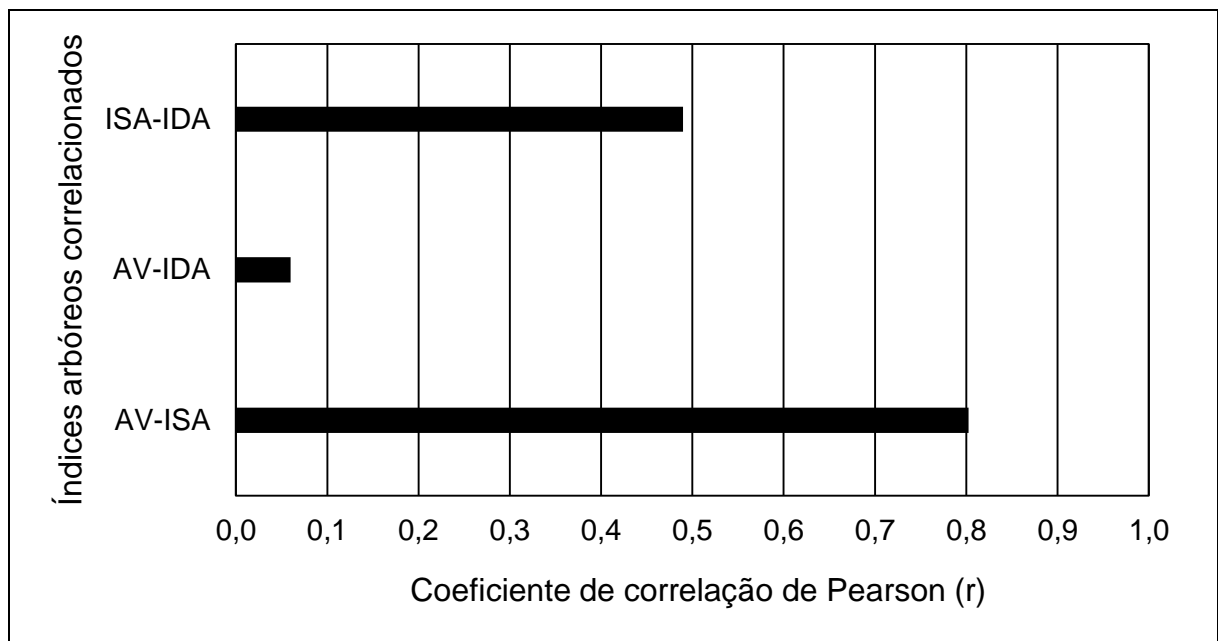
Fonte: o autor.

De acordo com os resultados, conclui-se que as 04 praças que foram classificadas como áreas verdes são as únicas que apresentam um ISA maior que 70%, sendo elas, Praça Josué Jair Eller (79,07%), Praça de Jardim Guadalajara (83,15%), Praça Almirante Tamandaré (73,94%) e Praça José Vereza (87,93%), já o

IDA das mesmas praças não foram os maiores observados e apenas duas delas possuem uma árvore a cada 100 m<sup>2</sup>.

As correlações entre os índices arbóreos e o percentual de área permeável, necessário para identificação das áreas verdes, estão apresentadas na Figura 9 a seguir.

Figura 9 – Coeficiente de correlação de Pearson entre os índices arbóreos dos espaços livres do município de Vila Velha



Fonte: o autor.

Logo, podemos concluir que dentre os índices arbóreos avaliados para o presente estudo realizado na cidade de Vila Velha, o Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA) está diretamente relacionado com a identificação das áreas verdes urbanas, apresentando uma correlação positiva (0,8), uma vez que as praças públicas que apresentaram este índice acima de 70% foram as únicas classificadas como áreas verdes urbanas de acordo com a metodologia aplicada, sendo este um importante parâmetro a ser adotado para esta finalidade.

Os resultados vão de encontro ao estudo realizado por Callejas et al. (2014) ao calcular os índices arbóreos em ambientes escolares, onde encontrou que o ISA, o IDA e o IAV guardam certa relação entre si, visto que ao se calcular o ISA e o IAV a partir do IDA igual a 1,0, praticamente encontrou-se os valores ideais sugeridos na literatura para estes índices.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- O uso de geotecnologias, bem como imagens com maior resolução espacial, mostrou-se eficiente para o mapeamento da vegetação urbana da cidade de Vila Velha, possibilitando uma visualização mais detalhada das classes de vegetação;
- Ao todo, foram mapeados 20,86 km<sup>2</sup> de vegetação urbana, distribuídas em 16 classes, e que correspondem à 42,27% das áreas urbanizadas da cidade de Vila Velha;
- Foram identificadas 09 (nove) áreas verdes dentre os 42 (quarenta e dois) espaços livres mapeados e avaliados;
- O Índice de Áreas Verdes (IAV) encontrado para a cidade de Vila Velha foi de 17,56 m<sup>2</sup>/habitante, acima do índice preconizado pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana;
- Embora o IAV seja satisfatório para a população total do município, a distribuição das áreas verdes é ruim, pois são encontradas em apenas 09 (nove) dentre os 92 (noventa e dois) bairros existentes do município, ou seja, 9,67% dos bairros e seus moradores não são contemplados pelos benefícios destas áreas; e
- Para o estudo realizado no município de Vila Velha, encontrou-se que o Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA) pode ser adotado como parâmetro para a identificação das áreas verdes urbanas.



## 6 REFERÊNCIAS

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

ALBERTI, M.; MARZLUFF, J. M. Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. **Urban Ecosystems**, v. 7, p. 241-265, 2004.

ALVAREZ, I. A. **Qualidade do espaço verde urbano: uma proposta de índice de avaliação**. 2004. 209 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2004.

ANYANWU, E. C.; KANU, I. The role of urban forest in the protection of human environmental health in geographically prone unpredictable hostile weather conditions. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, v. 3, n. 2, p. 197-201, 2006.

BIONDI, D. **Arborização urbana: aplicada à educação ambiental nas escolas**. Curitiba, 2008. 120 p.

BUCCHERI FILHO, A. T.; NUCCI, J. C. Espaços livres, áreas verdes e cobertura vegetal no bairro Alto da XV, Curitiba/PR. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 18, p. 48-59, 2006.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Diversidade e índices arbóreos em ambientes escolares. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**. V. 18, n. 1, p. 454-466, 2014

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In. 1º CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA E 4º ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA. 1992. **Anais eletrônicos...** Vitória. p. 29-38. Disponível em: <[http://www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs/arquivos/CAVALHEIRO%20et%20al%20\(1992\).pdf](http://www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs/arquivos/CAVALHEIRO%20et%20al%20(1992).pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2013.

CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C; GUZZO, P.; ROCHA, Y.T. (1999). Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo da SBAU** (Sociedade Brasileira de Arborização Urbana), Rio de Janeiro, ano VII, n. 3, p. 7, jul/ago/set. 1999.

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

FREITAS-LIMA, E. A. C.; CAVALHEIRO, F. Espaços Livres Públicos da cidade de Ilha Solteira, SP – Brazil. **HOLOS Environment**, v. 3, n. 1, p. 33-45, 2003.

GARCIA, D. G. Configuração urbana do município de Vila Velha/ES: reflexões sobre os espaços livres e áreas ambientalmente fragilizadas. In: VI COLÓQUIO DA PESQUISA QUAPA-SEL, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011.

GOMES, M. A. S. **As praças de Ribeirão Preto-SP: uma contribuição geográfica ao planejamento e à gestão dos espaços públicos.** 2005. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

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**, Oxford, v. 43, p. 7-17, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população 2013.** Vila Velha, ES, 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?codmun=320520&idtema=119&search=espírito-santo%7Cvila-velha%7Cestimativa-da-populacao-2013>>. Acesso em: 27 out. 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Infográficos: dados gerais do município.** Vila Velha, ES, 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=320520&search=espírito-santo|vila-velha|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. Acesso em: 15 jun. 2013.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.** 2013. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 23 ago. 2013.

KÖPPEN, W., GEIGER, R. **Klimate der erde.** Wall-map 150cmx200cm. Justus Perthes, Verlag. Gotha, 1928.

LANG, S.; BLASCHKE, T.. **Análise da Paisagem com SIG.** Tradução Hermann Kux, São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 424 p.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR.** 2012. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LIMA NETO, E. M. **Aplicação do sistema de informações geográficas para o inventário da arborização de ruas de Curitiba, PR.** 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LIMA, A.M.L.P.; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUZA, M.A. del B.; FIALHO, N. de O.; DEL PICCHIA, P.C.D. Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1994, São Luís. **Anais...** São Luiz:1994, p. 539-549.

- LOMBARDO, M.A. (1990) Vegetação e clima. In: III ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1990, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF/PR, p. 1-13.
- LOBODA, C. R.; ANGELIS, B. L. D. Áreas Públicas Urbanas: conceito, uso e funções. **Ambiência**. Guarapuava-PR, v.1, n.1, p. 125-139, 2005,
- MATOS, E.; QUEIROZ, L. P. **Árvores para cidades**. Salvador: Solisluna, 2009. 340 p.
- McPHERSON, E. G.; SIMPSON, J. R. A comparison of municipal forest. Benefits and costs in Modesto and Santa Monica, Califórnia, USA. **Urban Forestry & Urban Green**, Davis, n. 1, p. 61-74, 2002.
- MILANO, M. S. Arborização urbana. In: CURSO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA. Curitiba, 1993, **Resumos...** Curitiba, UNILIVRE/Prefeitura Municipal de Curitiba / Sociedade de Arborização Urbana, 1993, pp. 1-52.
- MONTEIRO, C.A. de F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976, 181p.
- NEWMAN, P., JENNINGS, I. **Cities as Sustainable Ecosystems: Principles and Practices**. Island Press, Washington, 2008. 285 p.
- NOWAK, D. J., CRANE, D. E., STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 4, p. 115-123, 2006.
- PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Florestas Urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 177p.
- NUCCI, J.C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/FAPESP, 2001. 236 p.
- NUCCI, J.C.; CAVALHEIRO, F. Cobertura vegetal em áreas urbanas – conceito e método. **GEOUSP**. São Paulo: Departamento de Geografia/USP, n. 6, p. 29-36, 1999.
- OLIVEIRA, C. H. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnósticos e propostas**. 1996. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1996.
- OLIVEIRA, E. S. C., LIMA, R. N. Proposição de mapa ambiental do município de Vila velha (ES), com base na identificação das suas áreas de preservação permanente e reservas ecológicas. **Natureza on line**. v. 1, n. 1, p. 12-16, 2003.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **World Urbanization Prospects. The 2010 Revision**. United Nations, New York, 2010. Disponível em:

<<http://esa.un.org/wpp/Documentation/WPP%202010%20publications.htm>>. Acesso em: 22 jul. 2013.

PMVV – Prefeitura Municipal de Vila Velha. **Meio Ambiente** - Unidades de Conservação (UC). Vila Velha, ES, 2012. Disponível em: <<http://www.vilavelha.es.gov.br/secretaria/meio-ambiente>>. Acesso em: 30 jun. 2013.

ROBERTS, L. 9 Billion? **Science**, Washington, v. 333, p. 540-543, 2011.

SANESI, G; CHIARELLO, F. Residents and urban green spaces: The case of Bari. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 4, p. 125-134, 2006.

SHASHUA-BAR, L., HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, v. 31, p. 221-235, 2000.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. **Landscape and Urban Planning**, v. 92, p.179-186, 2009.

SIMÕES, L. O. de C., MAROTTA, H., PIRES, B. B. M., UMBELINO, L. F., COSTA, A. J. S. T. **Índices de arborização em espaço urbano**: um estudo de caso no bairro de Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ. Anais do IX ENAU. Brasília, 2001. CD-R

SIQUEIRA, M. P. S. **Industrialização e empobrecimento urbano: o caso da Grande Vitória – 1950-1980**. 1ª edição. Vitória: EDUFES, 2001.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA. “Carta a Londrina e Itaporã”. **Boletim Informativo**, v. 3, n. 5, p. 5, 1996.

SOUZA, S. M.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; GONÇALVES, W.; MENDONÇA, A. R. Análise dos fragmentos florestais urbanos da cidade de Vitória – ES. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 112 - 124, 2013.

SOUZA, S. M. **Mapeamento e avaliação da vegetação urbana da cidade de Vitória - ES, utilizando geotecnologias**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

THOMPSON, C, W. Urban open space in the 21<sup>st</sup> century. **Landscape and Urban Planing**, v. 60, p. 59-72, 2002.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M. H. Áreas verdes. In: TERRITÓRIO & CIDADANIA. Rio Claro, SP, ano III, n. 2, 2003. **Anais eletrônicos...** Rio Claro, 2003. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/territorioecidadania/Artigos/helmut%201.htm>> Acesso em: 21 mai. 2014.

VOLPE-FILIK, A.; SILVA, L. F. da; LIMA; A. M. L. P. Avaliação da arborização de ruas do bairro São Dimas na cidade de Piracicaba/SP através de parâmetros qualitativos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 34 - 43, 2007.

YOUNG, R. F. Managing municipal green space for ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 9, p. 313-321, 2010.

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

## **CAPÍTULO II – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE ILHAS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA, ES.**

### **1 INTRODUÇÃO**

A extensa urbanização da superfície modifica os processos de balanço de energia e água e influencia a dinâmica do movimento do ar (OKE, 1987). É bem documentado e de conhecimento de todos que a urbanização pode ter efeitos significativos no tempo e clima locais (LANDSBERG, 1981). Destes efeitos, um dos mais comuns é a ilha de calor urbana (STREUTKER, 2002), que representa diretamente o estado de alteração ambiental (LU et al., 2009).

Uma ilha de calor urbana é uma área metropolitana que esteja significativamente mais quente do que suas áreas rurais circundantes; quanto maior o nível de urbanização, maior será a distinção da ilha de calor urbana, apresentando diferenças significativas da temperatura entre áreas urbanas e rurais. Já em 1833, o conceito de ilha de calor urbana foi descrito por Luke Howard, e desde então este tema de pesquisa tem recebido cada vez mais atenção (DETWILLER, 1970; CAMILLONI, 1997).

Chen et al. (2009), afirma que atualmente, com o desenvolvimento da sociedade e a aceleração do processo de urbanização, o efeito da ilha de calor urbana tornou-se cada vez mais importante e tem grande impacto no planejamento urbano e da vida humana neste ambiente

O efeito da ilha de calor urbana aparece principalmente na distribuição espacial da temperatura de superfície terrestre ( $T_s$ ), que é regida pelos fluxos de calor na superfície e obviamente afetado pela urbanização (DOUSSET, 2003; SUN et al., 2010). Conseqüentemente, a obtenção da  $T_s$  é o primeiro passo e fundamental para a análise da ilha de calor urbana.

Tradicionalmente, a análise da ilha de calor urbana é baseada nos dados de temperatura da superfície terrestre observados nos pontos meteorológicos sempre com medições *in situ* (LU et al., 2009). No entanto, segundo Liu e Zhang (2011), a distribuição desigual e as condições limitadas destes pontos isolados de observações meteorológicas podem resultar em dados  $T_s$  observados que não representam inteiramente a distribuição de  $T_s$  em toda da região.

Com o advento da alta resolução dos satélites de monitoramento da Terra, a tecnologia de sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizada para medir Ts e fornecer dados básicos para a análise de ilhas de calor urbana. Em comparação com o método tradicional de observação meteorológica, a tecnologia de sensoriamento remoto tem as vantagens de alta resolução espacial, o que torna possível a pesquisa de ilhas de calor urbanas em grande escala (LIU e ZHANG, 2011).

Qin et al. (2001) propôs um algoritmo *mono-window* para obter a temperatura da superfície terrestre utilizando dados Landsat TM banda TIR (infravermelho termal). O algoritmo *mono-window* forneceu um método simples e altamente eficaz obtendo as temperaturas de superfície da terra para a análise do efeito ilha de calor urbana (LU et al., 2009).

Diante do exposto, no presente estudo foram utilizadas geotecnologias e um algoritmo específico (*mono-window*), que auxiliam na obtenção e espacialização das ilhas de calor do município de Vila Velha, um importante centro comercial, industrial e residencial do estado do Espírito Santo, possibilitando assim analisar a distribuição espacial das mesmas em períodos distintos ao longo do ano, bem como ainda a geração de índices de qualidade ambiental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Ilhas de calor

Diversos autores afirmam que transformações das superfícies dos solos são responsáveis por profundas mudanças no balanço de energia, causando, dentre outras consequências, influência na dinâmica do movimento do ar, aumento da temperatura nas cidades e o fenômeno da ilha de calor urbana (AYOADE, 2001; SANT'ANNA NETO, 2000; MENDONÇA, 2000; KIM e BAIK, 2005).

O efeito da ilha de calor é conhecido como o acréscimo da temperatura do ar de regiões urbanizadas em relação às regiões rurais em seu entorno, em virtude da modificação e substituição de áreas de cobertura vegetal pela ocupação urbana e o excessivo adensamento das cidades (LI et al., 2009).

Segundo Magalhães Filho e Abreu (2010), as ilhas de calor ocorrem nos centros das grandes cidades devido aos seguintes fatores:

- a) Uso do solo - elevada capacidade de absorção de calor de superfícies urbanas como o asfalto, paredes de tijolo ou concreto, telhas de barro, de amianto, dentre outros;
- b) Ausência de áreas verdes - falta de áreas revestidas de vegetação, prejudicando o albedo, o poder refletor de determinada superfície;
- c) Verticalização - concentração de edifícios, que interferem na circulação dos ventos;
- d) Contaminação ou poluição do ar - poluição atmosférica que retém a radiação do calor, causando o aquecimento da atmosfera (efeito estufa);
- e) Baixa umidade relativa do ar - devido à baixa evaporação a partir do solo; e
- f) Concentração de geração de calor pelas atividades urbanas - utilização de energia pelos veículos, pelas residências e pelas indústrias, aumentando o aquecimento da atmosfera.

### 2.2 Temperatura da superfície terrestre

A temperatura da superfície terrestre é determinada a partir da detecção da radiação de ondas longas emitidas na faixa do infravermelho e detectada por sensores



orbitais (GUSSO et al., 2007), sendo um parâmetro físico que diz respeito ao fluxo de calor dado em função de balanço de radiação de um corpo (AYOADE, 2001).

Para Callejas et al. (2011), a estimativa da temperatura superficial a partir de imagens de satélite, é necessário para avaliar a emissividade da superfície e corrigir o efeito atenuante da atmosfera, visto que seus componentes (vapor d'água, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, aerossóis e outros gases de menor influência) diminuem a intensidade da radiação detectada pelos sensores do satélite. A emissividade depende da composição do objeto, da forma de sua superfície e de suas características físicas. Outro aspecto importante, é que seu valor se modifica em função do comprimento de onda e com o ângulo de observação do objeto. Assim, as estimativas da Ts permitem estabelecer correlações entre os diversos tipos de uso e ocupação do solo, o que viabiliza diversos estudos em meso e micro escalas na área de meio ambiente, planejamento urbano, arquitetura e urbanismo, dentre outras.

A diferença de Ts é geralmente maior no período noturno do que no diurno. As estações do ano também influenciam a diferença de Ts. As ilhas de calor em cidades situadas em latitudes médias geralmente são mais fortes na estação do verão, e em regiões com climas tropicais, o período do dia pode causar grandes magnitudes na temperatura da ilha. Logo, existem diferenças de temperaturas no dia, na noite e nas medidas sazonais de Ts. Assim quando a temperatura de superfície da terra está indisponível para estudos de caso, a temperatura do ar próximo a superfície também pode ser utilizada para validar o efeito da ilha de calor urbana (LIU e ZHANG, 2011).

### 2.3 Vegetação urbana como amenizador das ilhas de calor

O uso da vegetação nas cidades tem sido uma das ferramentas frequentemente apontadas pelos pesquisadores do ambiente urbano para melhorar as condições climáticas, bem como proporcionar conforto ambiental e melhor qualidade de vida. As árvores são citadas como elemento fundamental para minimizar os efeitos da alteração do clima provocado pelas ações humanas, o resfriamento do ar, o aumento da umidade relativa e as mudanças na ventilação (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003).

O planejamento das florestas urbanas, contemplando a criação de parques, bosques e arborização de ruas, são as medidas mais eficientes para promover mudanças, principalmente no microclima urbano (LEAL, 2012). Quando a vegetação

é bem distribuída, o balanço de energia de toda a cidade pode ser modificado pela adição de mais superfícies evaporativas, mais radiação absorvida pode ser dissipada na forma de calor latente e a temperatura urbana pode ser reduzida (YU e HIEN, 2006). Neste contexto, os estudos sobre o clima urbano devem ser estimulados para auxiliar nas diversas decisões de planejamento ambiental e reabilitação de áreas urbanas (HUANG et al., 2008).

Para Abreu (2008), as alterações do clima nos grandes centros urbanos têm como uma das principais causas a falta de vegetação. Isto, devido ao crescimento desordenado das cidades, onde grande parte da vegetação é removida para a construção de vias, edifícios e parcelamentos de terra, aumentando a cobertura pavimentada da área urbana. O autor cita ainda, que as principais modificações climáticas das cidades, causadas pela ausência de indivíduos arbóreos são: maior incidência de radiação solar direta, aumento da temperatura do ar, redução da umidade, modificação da direção dos ventos, aumento da emissão de radiação de onda longa, alteração dos ciclos de precipitação.

Gomes e Amorim (2003) apontam como medidas para amenização do clima urbano a arborização de vias públicas, praças, espaços livres urbanos destinados à áreas verdes, encostas e fundos de vale.

Anyanwu (2006), afirma ainda que as árvores podem retirar a poluição do ar principalmente por absorção via estômatos foliares, sendo alguns gases removidos pela superfície da planta. Os gases difundem-se nos espaços intercelulares no interior da folha e podem ser absorvidos por filmes de água para formar ácidos ou reagir com superfícies foliares internas.

É evidente que o conhecimento do comportamento das espécies em relação ao microclima e conforto térmico é importante para os planejadores e pesquisadores do ambiente construído, para que sejam incorporados no planejamento ou nas intervenções dos espaços abertos, aproveitando-se com inteligência os benefícios dos indivíduos arbóreos, visando a melhoria da qualidade de vida das pessoas (ABREU e LABAKI, 2010).

## 2.4 Geotecnologias aplicadas na detecção das ilhas de calor

Rao (1972) foi o primeiro a demonstrar que áreas urbanas podem ser identificadas pelas análises de dados de infravermelho termal adquiridos por um satélite.

Atualmente, com o acesso aos modernos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), bem como a utilização de produtos obtidos de sensores orbitais, como imagens multitemporais e dados interferométricos, é possível desenvolver diversos tipos de análises no âmbito dos estudos geoambientais (FITZ, 2008; ROSS, 2006).

Sensores remotos térmicos a bordo de satélites e aeronaves oferecem a possibilidade de obter a distribuição espacial dos dados de LST. Plataformas de órbita polar tais como NOAA–AVHRR (*National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer*), Landsat TM/ETM+ (*Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper*), Terra/Aqua MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e Terra ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) fornecem imagens de várias escalas para aplicação em processos da superfície terrestre (GILLESPIE et al. 1998).

Ainda segundo Gillespie et al. (1988), conseqüentemente vários esquemas com diferentes graus de complexidade têm sido desenvolvidos para estimar a  $T_s$  de imagens termais infravermelhas adquiridas por sensores. No entanto a recuperação da  $T_s$  de sensores remotos termais é uma tarefa difícil. Esse método depende de especificações dos sensores termais. Por exemplo, o clássico algoritmo *Split-window* foi estabelecido para sensores com dois ou mais canais termais, assim como AVHRR, enquanto o método de separação da temperatura/emissividade foi desenvolvido para o ASTER e MODIS, que tem cinco ou mais canais de banda termal infravermelha

Em comparação com o uso extensivo do AVHRR e dados de MODIS, os dados termais do Landsat TM/ETM+ não têm sido amplamente utilizados para mapeamento de  $T_s$ , porque eles têm apenas um canal termal. Além disso, baixa resolução temporal (16 dias) limita suas aplicações (QIN et al. 2001, LI et al. 2004).

No entanto, TM/ETM+ possui pelo menos duas importantes vantagens. O canal termal do TM/ETM+ têm relativamente maior resolução espacial comparado as resoluções do AVHRR e MODIS. A resolução espacial do canal termal do TM (banda 6) é 120 m, enquanto aquele do canal termal do ETM+ é 60 m. A alta resolução

espacial permite o monitoramento da microescala de Ts. Existem arquivos em abundância de imagens de TM/ETM+ adquiridos por séries de plataformas de Landsat de 1982 até o momento. Além disso o *US Geological Survey* abriu a *web-base* de livre acesso a arquivos de Landsat para usuários em todo o mundo. Portanto é razoável esperar que os dados termais TM/ETM+ tenha potencial para apoiar estudos de monitoramento a longo prazo da radiação termal da superfície terrestre (ZHOU et al., 2012).

Nos últimos anos, dois métodos para estimar Ts de dados termais de Landsat TM têm sido propostos. Um é o algoritmo *mono-window* proposto por Qin et al. (2001). O outro é o generalizado *single-channel*, método proposto por Jiménez-Muñoz e Sobrino (2003), que foi recentemente revisado pelas duas plataformas Landsat-4 e Landsat-7 (JIMÉNEZ-MUÑOZ et al. 2009).

## 2.5 Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI)

Pesquisas em temperatura da superfície terrestre mostraram que os fluxos de calor latente e sensível e, portanto, a resposta da temperatura radiante na superfície, é uma função da variação do conteúdo de água no solo e da cobertura vegetal (OWEN et al., 1998). Essa descoberta encorajou pesquisas na relação entre Ts e abundância de vegetação (WENG, 2001; WENG et al., 2003).

Sabe-se que vários índices de vegetação obtidos de imagens de sensores remotos podem ser usados na avaliação da cobertura vegetal qualitativamente e quantitativamente (TIAN e XIANGJUN, 1998). O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é amplamente aplicado em estudos científicos (LIU e ZHANG, 2008).

Zha et al.(2003) desenvolveram o NDBI (Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada) para identificar áreas urbanizadas e regiões construídas. É possível que a utilização de NDVI e NDBI possam representar tipos de coberturas da terra quantitativamente, para que a relação entre diferentes índices como NDVI, NDBI e temperatura possam ser estabelecidos em estudos de ilhas de calor urbanas.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado nas áreas urbanizadas e não urbanizadas do município de Vila Velha, ES. Esta cidade possui 458.489 habitantes (IBGE, 2013), localiza-se na região litorânea do Espírito Santo e faz parte da RMGV (Região Metropolitana da Grande Vitória), limitando-se com os municípios de Vitória, Cariacica, Viana e Guarapari (Figura 1). Sua área total é de 208,82 km<sup>2</sup>, correspondente a aproximadamente 9,4% do território da RMGV (IBAM, 2009).

#### **3.2 Banco de dados**

Para desenvolvimento do presente estudo foram utilizadas 24 imagens do satélite Landsat TM 5 distribuídas ao longo dos anos 2008 a 2011, em diferentes estações do ano, sem interferência de cobertura por nuvens, que foram adquiridas no site do USGS, e encontram-se especificadas e caracterizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados das imagens do satélite Landsat TM 5

<b>Arquivos</b>	<b>Dia do ano</b>	<b>Data</b>	<b>Horário</b>
LT52160742008018CUB00	18	18/01/2008	12h36min
LT52160742008130CUB00	130	09/05/2008	12h33min
LT52150742008235CUB00	235	22/08/2008	12h24min
LT52150742008299CUB00	299	25/10/2008	12h22min
LT52160742009068CUB00	68	09/03/2009	12h32min
LT52150742009109CUB00	109	19/04/2009	12h26min
LT52150742009221CUB00	221	09/08/2009	12h28min
LT52160742009324CUB00	324	20/11/2009	12h35min
LT52150742010048CUB00	48	17/02/2010	12h29min
LT52160742010151CUB01	151	31/05/2010	12h35min
LT52150742010240CUB00	240	28/08/2010	12h29min
LT52150742010336CUB00	336	02/12/2010	12h28min
LT52160742011058CUB00	58	27/02/2011	12h34min
LT52150742011147CUB00	147	27/05/2011	12h28min
LT52150742011195CUB00	195	14/07/2011	12h27min
LT52150742011243CUB00	243	31/08/2011	12h27min

Fonte: o autor.

De acordo com a necessidade dos processos de obtenção da distribuição da ilha de calor urbana, ainda foram obtidos valores horários (mesmo horário que o registrado nas imagens) de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) da estação meteorológica de observação de superfície automática de Vitória (VITORIA-A612), fornecidas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

### 3.3 Obtenção da Temperatura da superfície terrestre

No presente estudo, para obtenção da distribuição espacial da temperatura da superfície terrestre do município de Vila Velha, ES, por meio da utilização de dados Landsat-5 TM, sobretudo a banda 6 (infravermelho termal), foi adotado o algoritmo *mono-window*, proposto por Qin et al. (2001), representado no fluxograma metodológico (Figura 10), onde as operações foram realizadas em ambiente de trabalho do aplicativo computacional *ArcGIS 10.2*.

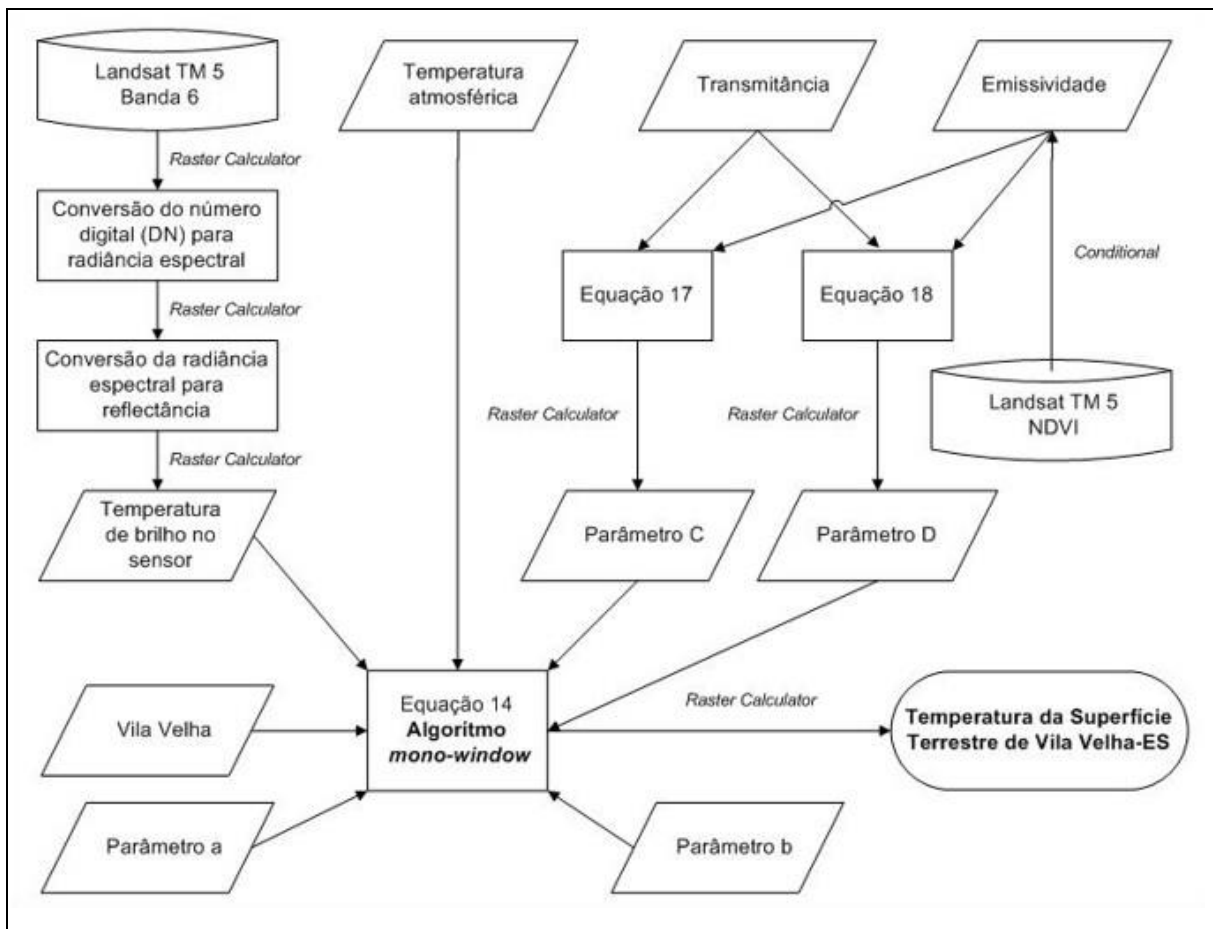
Baseado na equação de transferência de radiação térmica, o algoritmo *mono-window* requer apenas três parâmetros críticos: emissividade da superfície, transmitância atmosférica e média da temperatura atmosférica efetiva, obtidos utilizando-se em dados meteorológicos e aplicação de fórmulas. Os dados meteorológicos das datas analisadas, obtidos na estação automática de Vitória por meio do INMET, encontram-se descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados das variáveis meteorológicas das datas das imagens analisadas

Data	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m/s)	Precipitação (mm)
18/01/2008	29,5	71	4,0	0
09/05/2008	24,1	77	1,4	0
22/08/2008	25,9	57	2,5	0
25/10/2008	28,7	53	2,5	0
09/03/2009	28,3	67	2,5	0
19/04/2009	25,3	61	2,0	0
09/08/2009	24,6	62	1,3	0
20/11/2009	29,7	51	4,5	0
17/02/2010	31,9	51	3,7	0
31/05/2010	27,2	60	2,9	0
28/08/2010	25,9	60	2,9	0
02/12/2010	29,6	56	3,5	0
27/02/2011	25,7	89	1,4	0
27/05/2011	24,8	58	1,6	0
14/07/2011	23	64	1,5	0
31/08/2011	27,1	52	4,2	0

Fonte: o autor.

Figura 10 – Fluxograma metodológico para obtenção da temperatura superficial terrestre do município de Vila Velha, ES.



Fonte: Quin et al. (2001), adaptado pelo autor.

Os procedimentos de obtenção da  $T_s$  do município de Vila Velha, conforme fluxograma acima, serão descritos especificamente a seguir.

### 3.3.1 Conversão do número digital (DN) para radiância espectral ( $L_i$ )

Para converter os valores DN (Landsat-5 TM) em radiância espectral, foi utilizada a Equação 4, desenvolvida por Chander et al. (2007), descrita a seguir, bem como parâmetros, constantes e valores atualizados pelo referido estudo.

$$L_i = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) Q_{dn} / Q_{\max} \quad (4)$$

Em que,



$L_i$ : radiância espectral no sensor ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ );  
 $L_{max}$ : radiância espectral máxima no sensor ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ );  
 $L_{min}$ : radiância espectral mínima no sensor ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ );  
 $Q_{max}$ : máximo valor de pixels (número digital); e  
 $Q_{dn}$ : DN valor do pixel (número digital).

### 3.3.2 Conversão da radiância espectral ( $L_i$ ) para reflectância ( $\rho$ )

Para obtenção dos índices de vegetação e áreas construídas necessárias para correlacionar com a temperatura da superfície terrestre, deve-se obter a reflectância das imagens, conforme a Equação 5.

$$\rho = \frac{(\pi \times L_i \times d^2)}{(E_{sol\lambda} \times \cos \theta_s)} \quad (5)$$

Em que,

$\rho$ : reflectância medida ao nível do satélite (adimensional);  
 $L_i$ : radiância espectral no sensor ( $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ );  
 $d$ : distância Terra-Sol (unidades astronômicas);  
 $E_{sol\lambda}$ : irradiância solar exoatmosférica média ( $W.cm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ); e  
 $\cos \theta_s$ : ângulo zenital solar (graus).

### 3.3.3 Conversão da radiância espectral ( $L_i$ ) para temperatura de brilho no sensor (T)

Uma vez que o radiância espectral ( $L_i$ ) foi calculado, a temperatura de brilho no sensor a nível de satélite foi calculada utilizando a Equação 6 (SCHOTT e VOLCHOK, 1985).

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_6) \quad (6)$$

$$K_1 = 60,776 \text{ MW.cm}^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1} \quad (7)$$

$$K_2 = 1260,56 \text{ K} \quad (8)$$

Em que,

$T_6$ : temperatura de brilho no sensor Landsat TM 5 (K);

$K_1$ : constante de calibração; e

$K_2$ : constante de calibração.

### 3.3.4 Cálculo da emissividade da superfície terrestre ( $\varepsilon$ )

Segundo Van de Griend e Owe (2003) e Zhang et al. (2006) a emissividade pode ser estimada utilizando-se o NDVI.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais aplicados. Este índice é resultado do cálculo da razão entre a banda do infravermelho próximo (NIR) e a banda do vermelho (RED) reforçando a informação e relação do estado da vegetação (LU et al., 2009). O NDVI é calculado pela Equação 9.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (9)$$

Em que,

NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada (adimensional);

NIR: banda 4 – reflectância na banda do infravermelho próximo (adimensional); e

R: banda 3 - reflectância na banda do vermelho (adimensional)

Para o intervalo de valores obtidos de NDVI entre 0,157 a 0,727, Van De Griend e Owe (2003) desenvolveram uma eficaz equação para obter a emissividade da superfície (Equação 10) como se segue:

$$\varepsilon = 1,0094 + 0,0047 \times \ln(\text{NDVI}) \quad (10)$$

Em que,

$\varepsilon$ : emissividade da superfície terrestre (adimensional); e

NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada (adimensional).

Em 2006, Zhang et al., propuseram um método completo de estimativa da emissividade da superfície terrestre utilizando NDVI (Tabela 6)

Tabela 6 – Estimativa da emissividade utilizando o valor de NDVI

NDVI	Emissividade da superfície terrestre ( $\varepsilon_i$ )
NDVI < -0,185	0,995
-0,185 ≤ NDVI < 0,157	0,970
0,157 ≤ NDVI ≤ 0,727	1,0094+0,047ln(NDVI)
NDVI > 0,727	0,990

Fonte: Van de Griend e Owe (2003), Zhang et al. (2006)

### 3.3.5 Cálculo da transmitância atmosférica ( $\tau$ )

A transmitância atmosférica foi estimada utilizando o vapor de água da atmosfera. Com objetivo de calcular o vapor de água, foi utilizada a Equação 11 como se segue (YANG e QIU, 1996; LI, 2006):

$$w = 0,0981 \times \left\{ 10 \times 0,6108 \times \exp \left[ \frac{17,27 \times (T_0 - 273,15)}{237,3 + (T_0 - 273,15)} \right] \times UR \right\} + 0,1697 \quad (11)$$

Em que,

w: teor de vapor de água na atmosfera (g/cm<sup>2</sup>);

$T_0$ : temperatura do ar próximo à superfície (K); e

UR = umidade relativa do ar (%).

Lembrando que os dados temperatura do ar ( $T_0$ ) e umidade relativa do ar (UR) foram obtidas da estação meteorológica de observação de superfície automática do município de Vitória (VITORIA-A612), que faz divisa com o município de Vila Velha e,

que devido ao relevo relativamente plano e proximidade da estação, foi adotada para o estudo.

Para os dados Landsat TM, para se calcular a transmitância atmosférica, a Equação 12 pode ser aplicada, de acordo com o perfil do local e o vapor de água existente no mesmo, conforme Tabela 7 (SUN et al., 2010)

$$\tau_6 = 1,031412 - 0,11536 \times w_6 \quad (12)$$

Em que,

$\tau_6$  : transmitância atmosférica;

$W_6$  : vapor de água ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

Tabela 7 – Estimativa da transmitância atmosférica

Perfil	Vapor de água ( $w_6$ ) ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	Equação da transmitância atmosférica ( $\tau_6$ )	Correção quadrática	Erro padrão
Alta temperatura do ar	0,4 –1,6	$0,97429 - 0,08007 w_6$	0,99611	0,002368
	1,6 –3,0	$1,031412 - 0,11536 w_6$	0,99827	0,002539
Baixa temperatura do ar	0,4 –1,6	$0,982007 - 0,09611 w_6$	0,99563	0,003340
	1,6 –3,0	$1,053710 - 0,14142 w_6$	0,99899	0,002375

Fonte: Sun et al., (2010)

### 3.3.6. Cálculo da temperatura média atmosférica ( $T_a$ )

A equação da temperatura média atmosférica contida na Tabela 8 (SUN et al., 2010) pode ser aplicada para o cálculo da temperatura média atmosférica de acordo com a área em que se encontra.

Tabela 8 – Estimativa da temperatura média atmosférica

Área	Equação da temperatura atmosférica ( $T_a$ ) (K)
Para os EUA 1976	$25,9396 + 0,88045 \times T_0$
Para os trópicos	$17,9769 + 0,91715 \times T_0$
Para latitudes médias no verão	$16,0110 + 0,92621 \times T_0$
Para latitudes médias no inverno	$19,2704 + 0,91118 \times T_0$

Fonte: Sun et al., 2010

Logo, como o município de Vila Velha, ES está localizado na região entre os trópicos, aplica-se a Equação 13.

$$T_a = 17,9769 + 0,91715 \times T_0 \quad (13)$$

Em que,

$T_a$ : temperatura atmosférica (K); e

$T_0$ : temperatura do ar próximo à superfície (K).

### 3.3.7 Algoritmo *mono-window*

Após realizadas todas as operações anteriores e de posse das variáveis necessárias, aplicou-se o algoritmo desenvolvido por Qin et al. (2001), descrito na Equação 14, e assim, foi processada a distribuição espacial da temperatura da superfície terrestre das 24 imagens provenientes do Landsat-5 TM para o município de Vila Velha, ES.

$$T_s = \{a \times (1 - C - D) + [b \times (1 - C - D) + C + D] \times T_i - D \times T_a\} / C \quad (14)$$

$$a = 67,355351 \quad (15)$$

$$b = 0,458606 \quad (16)$$

$$C = \varepsilon_i \times \tau_i \quad (17)$$

$$D = (1 - \tau_i) [1 + (1 - \varepsilon_i) \times \tau_i] \quad (18)$$

Em que:

$T_s$ : temperatura da superfície terrestre (K);

$T_6$ : temperatura de brilho no sensor Landsat TM 5 (K);

$\varepsilon$ : emissividade da superfície terrestre (adimensional);

$\tau_6$ : transmitância atmosférica (adimensional); e

$T_a$ : temperatura atmosférica (K).

### 3.4 Análises estatísticas

#### 3.4.1 Correlação de pearson entre temperatura da superfície terrestre ( $T_s$ ), NDVI e NDBI

De posse da distribuição espacial, pixel a pixel, dos valores de NDVI e  $T_s$  para as 24 imagens, calculou-se o NDBI pela Equação 19. O índice de áreas construídas por diferença normalizada (NDBI) desenvolvido por Zha et al.(2003) identifica áreas urbanizadas e regiões construídas.

$$\text{NDBI} = \frac{\text{MIR} - \text{NIR}}{\text{MIR} + \text{NIR}} \quad (19)$$

Em que,

NDBI: índice de áreas construídas por diferença normalizada (adimensional);

MIR: banda 5 - infravermelho médio (adimensional); e

NIR: banda 4 - infravermelho próximo (adimensional).

Com a finalidade de comparar as áreas verdes e áreas construídas e o efeito das ilhas de calor urbanas, que fornece informações úteis para o desenvolvimento e proteção do meio ambiente urbano, a correlação de Pearson entre  $T_s$ , NDVI e NDBI foram analisadas de acordo com a equação 20:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (20)$$

Em que,

r: Coeficiente de correlação de Pearson;

$x_i$ : valores medidos da variável x; e

$y_i$ : valores médidos da variável y.

### 3.4.2 Teste de médias

As comparações das temperaturas da superfície terrestre médias das áreas urbanizadas e não urbanizadas ao longo dos 4 anos estudados, foram realizadas utilizando-se o teste de proporção (teste z).

Os testes estatísticos foram calculados utilizando-se o programa *Microsoft Excel* 2013, adotando-se o nível de significância de 5%.

### 3.5 Avaliação ecológica

Foi utilizado o índice de variação de campo térmico urbano (UTFVI) para descrever quantitativamente o efeito da ilha de calor urbana (ZHANG, 2006) de acordo com a Equação 21:

$$UTFVI = \frac{T_s}{T_s - T_{MEAN}} \quad (21)$$

Em que,

UTFVI: índice de variação do campo térmico urbano (adimensional);

$T_s$ : temperatura da superfície terrestre (K); e

$T_{MEAN}$ : média da temperatura da superfície terrestre (K);

O UTFVI reflete sobre as mudanças no campo térmico urbano diretamente e pode ainda ser dividido em diferentes níveis de avaliação ecológica (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores limites dos índices de variação de campo térmico urbano (UTFVI)

<b>UTFVI</b>	<b>Fenômeno da ilha de calor urbana</b>	<b>Índice de avaliação ecológica</b>
< 0,01	Fraco	Bom
> 0,01	Forte	Ruim

Fonte: Zhang (2006), adaptado pelo autor

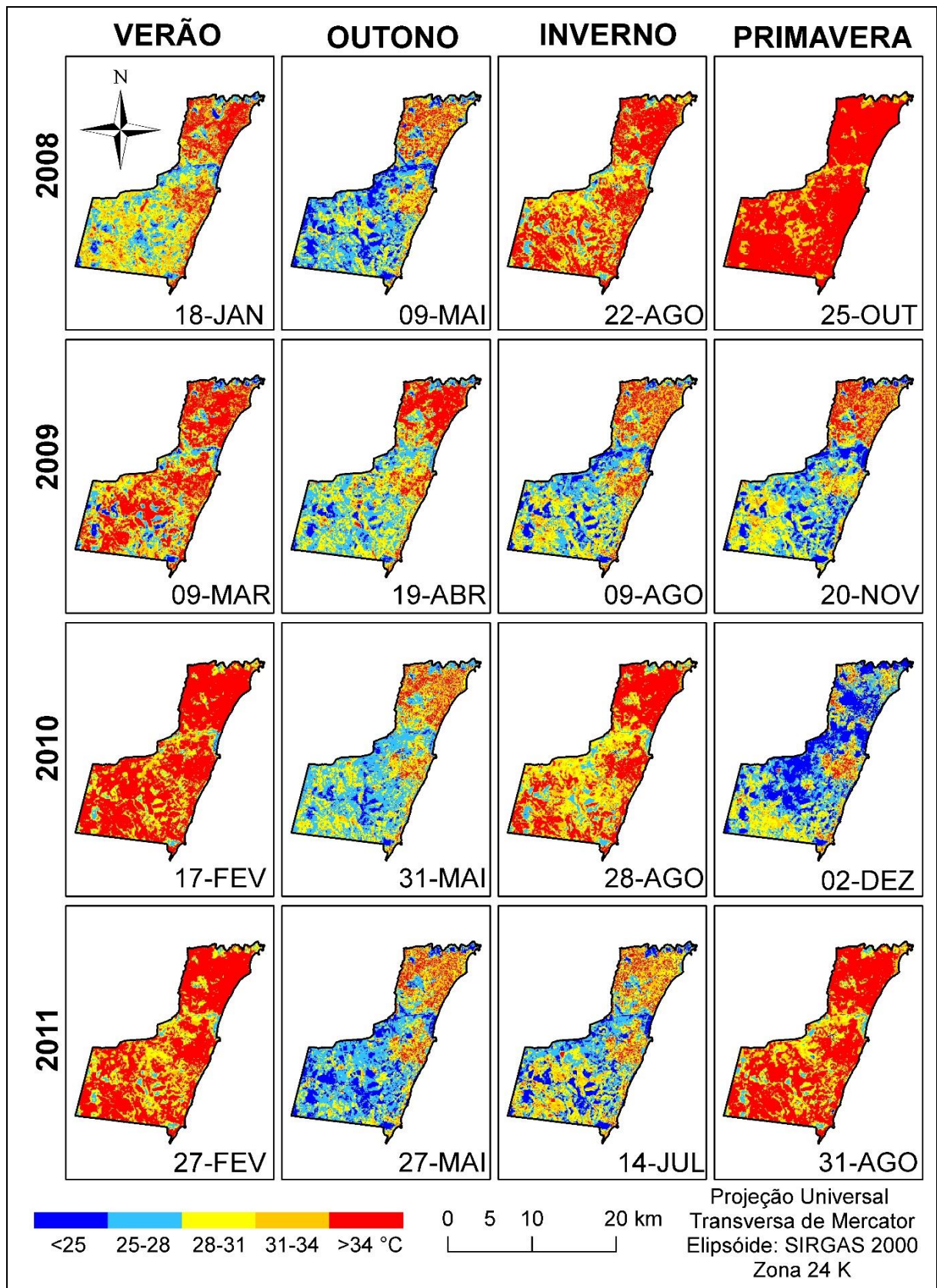


## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Distribuição das ilhas de calor**

O município de Vila Velha, ES, apresenta muitas situações que intensificam o efeito das ilhas de calor. Na Figura 11, é apresentado o resultado da distribuição espacial da temperatura da superfície terrestre, principal característica da ilha de calor urbana, para 16 imagens em datas e períodos distintos entre os anos de 2008 a 2011.

Figura 11 – Distribuição da temperatura da superfície terrestre para o município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 a 2011.



Fonte: o autor.

Pela análise da Figura 11, evidencia-se a existência do efeito da ilha de calor urbana no município de Vila Velha, uma vez que as áreas urbanizadas do município apresentam maiores temperaturas que as áreas não urbanizadas na maioria das imagens avaliadas.

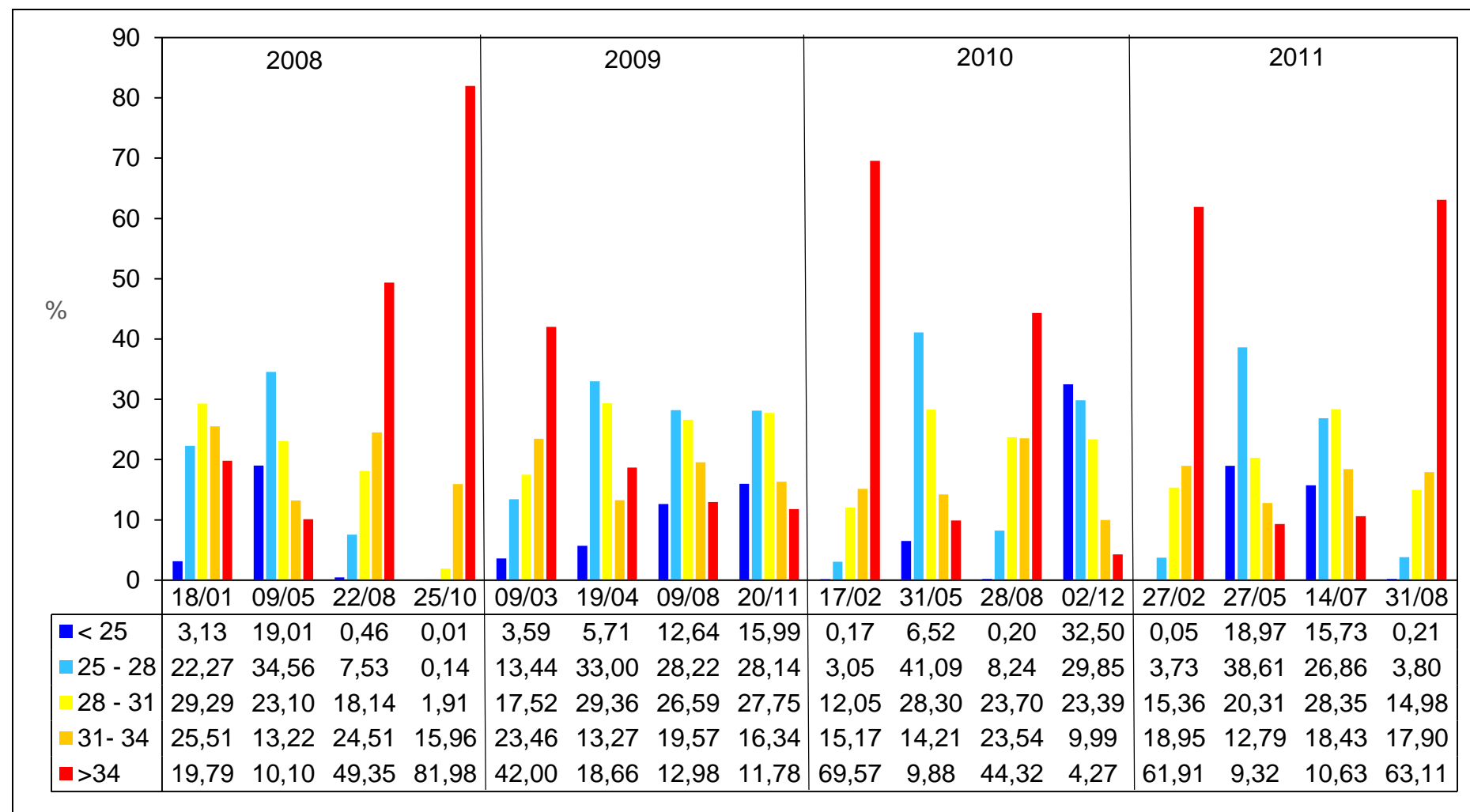
Estas ilhas de calor urbanas encontram-se distribuídas principalmente nas áreas de maior urbanização, sobretudo nas regiões Norte e Noroeste do município, nas conurbações com os municípios de Cariacica e Vitória, e também onde se localizam os centros comerciais e bairros mais antigos e populosos do município.

As ICU encontram-se presentes também nas regiões litorâneas da cidade, caracterizadas pela elevada presença de edifícios, e nas regiões Sudeste, sobretudo na região do Jucu, que representam uma grande parcela no processo de crescimento populacional, com o surgimento de loteamentos e estabelecimento de novos bairros.

Percebe-se que nas regiões onde se localizam as áreas verdes do município como Morro do Moreno, Morro da Penha, Parque Natural Municipal Morro da Mantegueira e Parque Natural Municipal do Jacarenema, com elevado vigor vegetativo, bem como fragmentos florestais e a região rural das margens do rio Jucu apresentaram características de ilhas de amenização em todas as datas avaliadas, enquanto as áreas de pastagens ao Sul e Sudoeste do município não apresentaram respostas positivas neste aspecto, sobretudo nos períodos mais quentes do ano.

O comportamento do efeito da ilha de calor urbana entre os anos de 2008 a 2011 no município de Vila Velha, ES pode ser melhor compreendido de acordo com os resultados apresentados na Figura 12.

Figura 12 – Proporções da distribuição das classes de temperatura da superfície terrestre entre os anos de 2008 a 2011, para o município de Vila Velha, ES.



Fonte: o autor.

Houveram flutuações interanuais e mensais significantes da temperatura da superfície terrestre do município de Vila Velha, ES, como também constatado por Chen et al (2006) ao estudar a relação entre a ilha de calor e o uso e ocupação da terra na região do PRD (Pearl River Delta) na China.

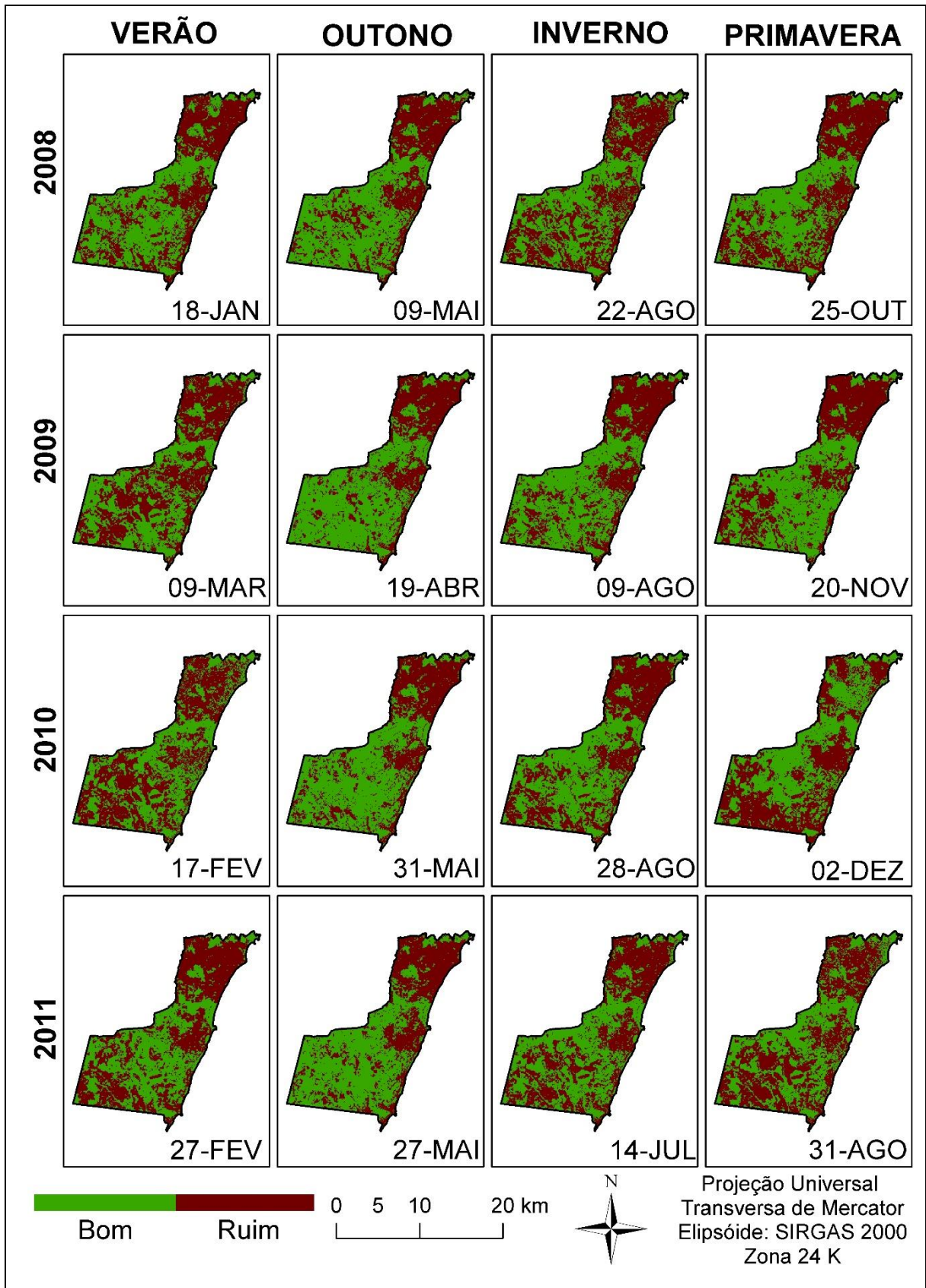
Percebe-se que o resultado para a data 22/08/2008 e, portanto, na estação inverno, apresentou uma elevada porcentagem de temperaturas da superfície terrestre acima de 28°C (92%), este valor pode ser explicado pelo longo período de estiagem registrado neste mesmo ano e seus efeitos na umidade do ar e do solo. Inverno com temperaturas mais quentes podem ainda ser resultado de uma das consequências do fenômeno el Niño.

Apesar da heterogeneidade e particularidades dos resultados, em geral, podemos perceber uma maior proporção das classes acima de 28°C em datas que correspondem aos períodos equivalentes às estações de Primavera e Verão, como 99,85% em 25/10/2008 e 96,79% em 17/02/2010, e maiores proporções das classes abaixo de 28°C correspondem aos períodos equivalentes às estações de Outono e Inverno, como 53,57% em 09/05/2008 e 42,59% em 14/07/2011.

#### 4.2 Avaliação ecológica das ilhas de calor

A partir do valor obtido no cálculo do UTFVI, foi possível realizar a avaliação ecológica da ilha de calor urbana do município de Vila Velha, ES, entre os anos de 2008 a 2011 com base nos parâmetros desenvolvidos por Zhang (2006), ilustrada na Figura 13.

Figura 13 – Avaliação ecológica das ilhas de calor no município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 a 2011.

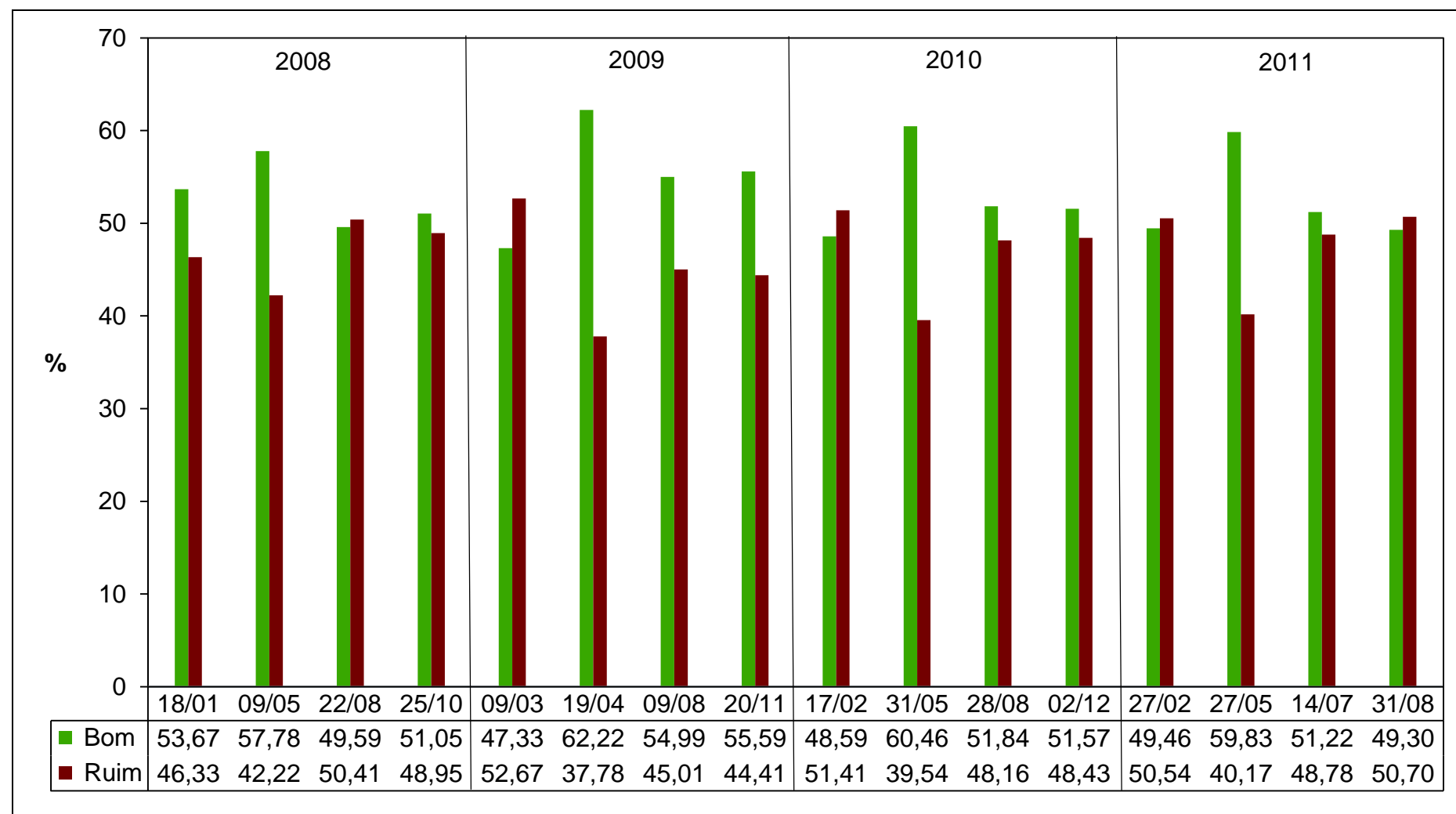


Fonte: o autor.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 12, observa-se que em todas as datas e imagens avaliadas da cidade de Vila Velha, as áreas urbanizadas do município foram classificadas ecologicamente como ruins, indo ao encontro do estudo realizado por Liu e Zhang (2011) em Hong Kong, onde concluiu que o desenvolvimento urbano de maneira desordenada e adensada geram uma degradação ecológica e ambiental nas grandes cidades.

Na Figura 14 são quantificadas as proporções da avaliação ecológica da ilha de calor urbana para o município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 a 2011.

Figura 14 – Proporções da avaliação ecológica das ilhas de calor no município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 a 2011.



Fonte: o autor.



Nota-se pelas análises dos dados, que dentre as 16 imagens analisadas de datas distintas entre os anos de 2008 e 2011 para o município de Vila Velha, ES, 11 imagens (68,75%) apresentaram no mínimo 50% do território do município classificadas na avaliação ecológica como boas.

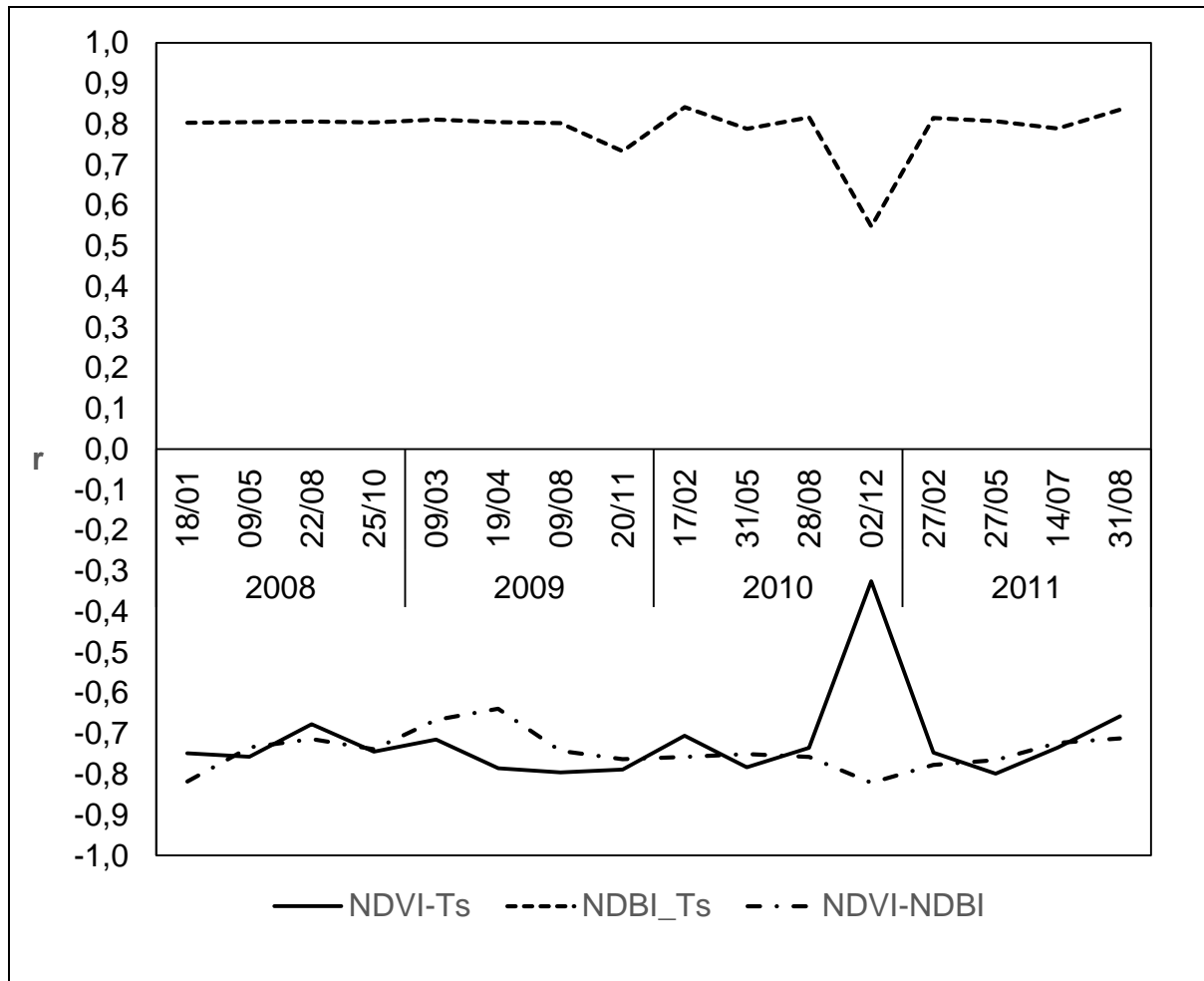
Percebe-se então que as outras 05 imagens (31,25%) que apresentaram no mínimo 50% do território do município classificadas na avaliação ecológica com ruins, significam um importante resultado, uma vez que as áreas urbanizadas representam apenas 38% da área total do município, logo, áreas não urbanizadas também foram avaliadas ecologicamente como ruins, muito provavelmente regiões com ambientes e paisagens degradadas, como exemplo pastagens mal manejadas e áreas mineiradas.

#### 4.3 Análise da correlação entre a temperatura da superfície terrestre (Ts), NDVI e NDBI

Com a finalidade de comparar os efeitos das áreas construídas e as áreas com predominância da vegetação natural, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, determinado para os valores de Ts, NDVI e NDBI para o município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 a 2011.

Os resultados das correlações entre os parâmetros Ts, NDVI e NDBI das 16 imagens analisadas são apresentados na Figura 15.

Figura 15 – Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) entre Temperatura da Superfície Terrestre (Ts), NDVI, NDBI para o município de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 a 2011.



Fonte: o autor.

Pela análise dos dados acima, encontrou-se para todas as imagens avaliadas, um coeficiente de correlação negativo entre a Temperatura da Superfície Terrestre (Ts) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), reforçando a ideia de que as áreas verdes ou com predominância de vegetação natural podem amenizar o efeito da ilha de calor urbana.

Em contrapartida, obteve-se um coeficiente de correlação positivo entre os valores de Ts e o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI). Este resultado sugere que as áreas construídas podem potencializar o efeito da ilha de calor urbana. Semelhantemente, Liu e Zhang (2011) obtiveram para a região de Hong Kong, um coeficiente de correlação de -0,41 entre Ts e NDVI e 0,71 entre Ts e NDBI.

Para os dados da imagem de 02/12/2010, observa-se que os coeficientes de correlação entre Ts-NDVI e Ts-NDBI foram “mais fracos”, porém continuaram negativo e positivo, respectivamente. Embora, entre os critérios para aquisição das imagens, a ausência de nuvens e de formas precipitação das mesmas fossem consideradas, sugere-se que nesta data a superfície terrestre encontrava-se úmida ou sobretudo alagada, uma vez que o município de Vila Velha possui um histórico de alagamentos em diversos pontos durante o período chuvoso.

#### 4.4 Avaliação térmica das ilhas de calor

Os Valores médios da temperatura da superfície terrestre para áreas urbanizadas e não urbanizadas de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 e 2011 são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores médios da temperatura (°C) da superfície terrestre para áreas urbanizadas e não urbanizadas de Vila Velha, ES entre os anos de 2008 e 2011

Ano	Data	Área urbanizada		Área não urbanizada		Diferença	Teste-z
		Média	Variância	Média	Variância		
2008	18/01	34,74	14,54	29,73	9,77	5,01	*
	09/05	32,54	13,62	27,15	9,06	5,39	*
	22/08	36,48	11,18	33,04	15,43	3,44	*
	25/10	42,57	13,12	37,18	14,53	5,39	*
2009	09/03	35,68	11,08	31,92	18,56	3,75	*
	19/04	35,59	17,27	28,41	7,83	7,19	*
	09/08	34,05	12,04	28,12	9,94	5,93	*
	20/11	33,34	14,69	27,78	10,39	5,57	*
2010	17/02	38,44	11,16	36,06	25,31	2,39	*
	31/05	32,94	10,92	27,79	5,71	5,15	*
	28/08	37,50	12,27	32,33	13,22	5,17	*
	02/12	28,71	20,63	26,38	12,80	2,34	*
2011	27/02	39,50	13,09	34,34	17,34	5,15	*
	27/05	32,83	12,43	26,86	7,26	5,96	*
	14/07	32,25	11,34	27,97	11,48	4,27	*
	31/08	37,85	12,12	34,95	21,86	2,90	*

\*com diferença estatisticamente significativa e \*\*sem diferença estatisticamente significativa

Fonte: o autor.

Como esperado, as maiores médias das temperaturas da superfície terrestre foram encontradas nas áreas urbanizadas do município de Vila Velha, ES, em todas as datas avaliadas.

Com base no teste “z” entre as médias das temperaturas das áreas urbanizadas e não urbanizadas do município de Vila Velha, todas as diferenças obtidas foram estatisticamente significativas.

Em geral, as médias das temperaturas da superfície terrestre foram maiores na estação do Verão e menores na estação do Inverno.

A menor diferença das temperaturas da superfície terrestre entre as áreas urbanizadas e não urbanizadas foi encontrada no dia 02/12/2010 (2,34°C), na estação verão, afirmando o padrão encontrado nos estudos realizados por Kim e Baik (2002)

em Seoul e Zhong (1996) em Shenzheng, onde as amplitudes também foram encontradas nesta estação.

A maior diferença das temperaturas da superfície terrestre foi encontrada no dia 19/04/2009 (7,19°C), na estação outono, também afirmando o padrão encontrado nos estudos realizados por Kim e Baik (2002) em Seoul e Zhong (1996) em Shenzheng, onde as maiores amplitudes foram nas estações outono e inverno.

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- Por meio da aplicação do algoritmo mono-window, verifica-se que as ilhas de calor urbanas no município de Vila Velha, ES estão localizadas principalmente na região Norte, Centro, limites com os municípios de Cariacica e Vitória e nos bairros da região litorânea;
- Houveram flutuações interanuais e mensais significantes da temperatura da superfície terrestre, com maiores proporções das classes acima de 28°C na Primavera e Verão e maiores proporções das classes abaixo de 28°C no Outono e Inverno.
- Obteve-se um coeficiente de correlação negativo entre a Temperatura da Superfície Terrestre (Ts) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e encontrou-se um coeficiente de correlação positivo entre os valores de Ts e o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI);
- Áreas verdes ou com predominância de vegetação natural, como fragmentos florestais e a regiões rurais às margens do rio Jucu apresentaram características de ilhas de amenização, enquanto áreas de pastagens não apresentaram respostas positivas neste aspecto, sobretudo no Verão;
- Conclui-se que no período avaliado as temperaturas das áreas urbanas foram de no mínimo 2,34°C a no máximo 7,19°C superiores em relação às áreas não urbanizadas no entorno, concretizando o efeito das ilhas de calor no município de Vila Velha, ES; e
- Embora a os dados do sensor TM/Landsat-5 possam ser aplicados para analisar a distribuição de ilhas de calor urbanas, o método ainda precisa ser refinado com medições *in situ* para estimativa de Ts em estudos futuros.

## 6 REFERÊNCIAS

ABREU, L.V. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

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

ANYANWU, E. C.; KANU, I. The role of urban forest in the protection of human environmental health in geographically prone unpredictable hostile weather conditions. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, v.3, n.2, p.197-201, 2006

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 332 p.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Uso do solo e temperatura superficial em área urbana. **Mercator**, v. 10, n. 23, p. 207-233, 2011.

CAMILLONI, I.; BARROS, V. On the urban heat island effect dependence on temperature trends. **Clim Change**, v. 37, p. 665-668, 1997.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. Revised Landsat-5 Thematic mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 3, p.490-494, 2007

CHEN, Q; REN, J.; LI, Z.; NI, C. **Urban Heat Island Effect Research in Chengdu City Based on MODIS Data**. In proceedings of 3rd international conference on bioinformatics and biomedical engineering, ICBBE, Beijing, China, 2009. p. 1-5.

DETWILLER, J. Deep soil temperature trends and urban effects at Paris. **Journal of Applied Meteorology**. v. 9, p.178-180, 1970.

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

DOUSSET, B.; GOURMELON, F. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover. **ISPRS Journal of Photogram and Remote Sensing**. v. 58, p. 43-54, 2003.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**, São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008. 160 p.

GILLESPIE, A., ROKUGAWA, S., MATSUNAGA, T., COTHERN, J.S., HOOK, S. and KAHLE, A.B. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced

Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. **Transaction on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, p. 1113–1126, 1988.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 7, p. 94-106, 2003.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 231-237, 2007.

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**, Oxford, v. 43, p. 7-17, 2008a.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.C.; SOBRINO, J.A., 2003, A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. 22, 2003.

KIM, Y. H.; BAIK, J. J. Maximum Urban Heat Island Intensity in Seoul. **Journal of Applied Meteorology**, v. 41, p. 651–653, 2002.

KIM, Y. H.; BAIK, J. J. Spatial and temporal structure of urban heat island in Seoul. **American Meteorological Society**, v. 44, p. 591-605, 2005.

LANDSBERG, H.E. **The Urban Climate**; Academic Press: New York, NY, USA, 1981; p. 84-89.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – PR**. 2012.172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LI, J. Estimating land surface temperature from Landsat-5 TM. **Remote Sensing Technology and Application**, v. 21, p. 322-326, 2006.

LI, F. Q.; JACKSON, T. J.; KUSTAS, W. P.; SCHMUGGE, T. J.; FRENCH, A. N., COSH, M. H.; BINDLISH, R. Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 521–534, 2004.

LI, J.; WANG, X. R.; WANG, X. J.; MA, W.; ZHANG, H. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai Metropolitan Area, China. **Ecological Complexity**, v. 6, n. 4, p. 413-420, 2009.

LIU, L.; ZHANG, Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. **Remote Sensing**, v. 3, p 1535-1552, 2011.



LU, Y.; FENG, P.; SHEN, C.; SUN, J. **Urban Heat Island in Summer of Nanjing Based on TM Data**. In Proceedings of 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, Shanghai, China, 2009; pp. 1-5.

MAGALHÃES FILHO, L. C. A.; ABREU, J. F. Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração: Belo Horizonte, uma análise exploratória. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.10, n.1, 2010.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de médio e pequeno porte. Proposta metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/Pr**. 2004. 300 f. Tese (Doutorado em Geografia) - FFLCH/ USP. São Paulo. 1994.

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

QIN, Z., KARNIELI, A.; BERLINER, P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 3719–3746, 2001.

RAO, P. K. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 53, p. 647–648, 1972.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil, subsídios para o planejamento ambiental**. 2006. Editora: Oficina de textos, São Paulo, 2006, 208 p.

SANT'ANNA NETO, J. L. Mudanças Climáticas Globais: Implicações no Desenvolvimento Econômico e na Dinâmica Natural. **Revista Pantaneira**, v. 2, n. 2, p. 66-78, 2000.

SCHOTT, J. R.; VOLCHOK, W. J. Thematic Mapper thermal infrared calibration. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 51, p. 1351-1357, 1985.

STREUTKER, D.R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 2595-2608, 2002.

SUN, Q.; TAN, J.; XU, Y. An ERDAS image processing method for retrieving LST and describing urban heat evolution: A case study in the Pearl River Delta Region in South China. **Environment. Earth Science**, v. 59, p; 1047-1055. 2010.

TIAN, Q.; XIANGJUN, M. Advances in study on vegetation indices. **Advance in Earth Sciences**, v. 13, n. 4, p. 327–333, 1998.

VAN DE GRIEND, A. A.; OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**. 2003, v.14, p. 1119-1131, 2003

WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its

impact on surface temperature in Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**, v; 22, n. 10, p. 1999–2014. 2001.

WENG, Q.; LU, D.; JACQUELYN, S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, p. 467–483, 2003.

YANG, J.; QIU, J. The empirical expressions of the relation between precipitable water and ground water vapor pressure for some areas in China. **Scientia. Atmospherica. Sinica**, v. 20, n. 5, p. 620-626, 1996.

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

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003.

ZHANG, Y. Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. **Journal of. Remote Sensing**, v 10, p. 789-797, 2006

ZHANG, J.; WANG, Y.; LI, Y. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM Band 6. **Computer and Geosciences**, v.32, p. 1796-1805, 2006.

ZHONG, B. Urban heat island effect of Shenzhen city. **Journal of Meteorology**, v. 22, n. 5, p. 23–24, 1996.

ZHOU, J.; LI, J.; ZHANG, L.; HU, D.; ZHAN, W. Intercomparison of methods for estimating land surface temperature from a Landsat-5 TM image in an arid region with low water vapour in the atmosphere. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 8, p. 2582-2602, 2012.

### III – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a substituição da vegetação nativa por áreas construídas no processo de urbanização, atualmente, as variadas formas de vegetação urbana do município de Vila Velha, ES encontram-se localizadas em remanescentes nas áreas não construídas, nas margens de córregos e rios, no interior dos lotes residenciais, nos parques, nas praças, ao longo da malha viária, nos passeios e canteiros centrais.

Esta crescente substituição dos atributos naturais pelos artificiais e, portanto, materiais de maior capacidade térmica, ocasionam situações e condições de desconforto aos cidadãos, como desconforto térmico e baixa qualidade do ar, assim resultando em uma baixa qualidade de vida.

Embora o município de Vila Velha, ES, apresente um indicador ambiental com IAV (Índice de áreas verdes) superior ao mínimo estabelecido pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU), constatou-se uma má distribuição destas áreas ao longo do município, pois são pouco distribuídas na malha urbana de Vila Velha, ficando a maioria restrita às Unidades de Conservação.

A distribuição das ilhas de calor, obtida pela temperatura da superfície terrestre, mostrou-se claramente associada às áreas urbanizadas, onde as temperaturas foram superiores ao seu entorno. A redução do aumento contínuo da temperatura da superfície terrestre nas cidades e a sua mitigação pode se tornar possível por meio da intervenção das autoridades por meio de políticas públicas que priorizem o planejamento urbano e considerem a interação dos espaços naturais e construídos.

Diversas alternativas podem ser adotadas como a redução da taxa anual de ocupação do solo, principalmente nos bairros centrais e mais populosos, preservação da vegetação remanescente e designação de novas áreas verdes, como, por exemplo, criação de novos parques na cidade, estímulo fiscal com intuito de reverter áreas já impermeabilizadas nos bairros, intensificação na fiscalização no que se refere à aplicação das leis de proteção ambientais existentes no município, principalmente, nas áreas de proteção permanentes, incentivo a programas de educação ambiental e aos plantios de árvores adequadas para o ambiente urbano que influenciem nos processos de sombreamento e evapotranspiração, e utilização de materiais alternativos tanto para cobertura de edifícios quanto para pavimentos, como telhados verdes e pavimentos frescos.

Os espaços livres, as áreas verdes urbanas e a arborização viária, que desempenham várias funções ambientais e fornecem benefícios essenciais para uma melhor qualidade de vida da população do município de Vila Velha, devem ser considerados áreas públicas de relevância para os gestores públicos, necessitando de melhor planejamento para implantação e distribuição adequadas destas áreas, bem como o fornecimento de insumos que possibilitem a manutenção adequada destes recursos naturais.