



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

Classificação do Clima Local de Sítios Urbanos de Feira de Santana

Natanael Augusto Viana Simões

Feira de Santana

2017



Universidade Estadual de Feira de Santana
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada

Natanael Augusto Viana Simões

Classificação do Clima Local de Sítios Urbanos de Feira de Santana

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientadora: Gracinete Bastos de Souza

Feira de Santana

2017

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

Simões, Natanael Augusto Viana
S612c Classificação do clima local de sítios urbanos de Feira de Santana /
Natanael Augusto Viana Simões. - Feira de Santana, 2017.

95 f.: il.

Orientador: Gracinete Bastos de Souza

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,
Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada, 2017.

1. Zonas de clima local. 2. Feira de Santana. 3. Computação aplicada
– Ambiente urbano. I. Souza, Gracinete Bastos de, orient. II.
Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 551.582

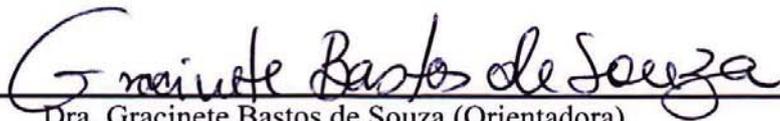
Natanael Augusto Viana Simões

Classificação do Clima Local de Sítios Urbanos de Feira de Santana

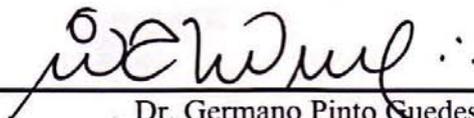
Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Feira de Santana, 05 de abril de 2017

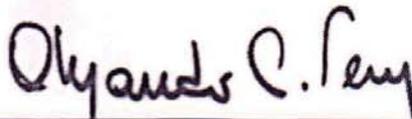
BANCA EXAMINADORA



Dra. Gracinete Bastos de Souza (Orientadora)
Universidade Estadual de Feira de Santana



Dr. Germano Pinto Guedes
Universidade Estadual de Feira de Santana



Dr. Alejandro César Frery Orgambide
Universidade Federal de Alagoas

Abstract

The sustainability and the renewable energies are strongly discussed and their relevance in the global community should not be discarded, after all, natural resources are limited. The problems related to the misuse and exhaustion of these resources, besides the emission of gases, occurs mainly within the cities where the majority of the human activities are developed. For this reason, among others, the interest in monitoring climatic factors within cities is growing around the world. Our objective is to identify and classify Local Climate Zones in urban areas of Feira de Santana and propose a local scale sensing infrastructure. In order to achieve the proposed target, it was necessary to explore meteorological observation methods at urban sites; establish a raw data access service and an interface for end users; and to develop a meteorological station capable of measuring the investigated parameters representatively in the urban context. Of the existing methods for classification of urban sites, we used Local Climates Zones proposed by Stewart and Oke in a universe of thirty-five sites spread throughout the city of Feira de Santana. The procedure was carried out in three stages, where temperature and humidity data were first collected using the Arduino platform; in addition to observing and evaluating afforestation, buildings (types, height, spacing and material), types of surface, width of streets, traffic of vehicles and human activity. We adopted as parameter a radius of 500m for thermal source area. As result, we obtained the sites classification, constructed two tables and a map to expose the collected data and observations made identifying each site and its class. In order to fulfill the goal of developing a station adapted to the urban environment, we propose in this work the logical organization of a framework that defines the collection of data by automatic low-cost stations connected to the internet, and the visualization of this data by means of the 52 Â° North SOS. For the construction of the prototype stations, we take into account the sensing of temperature and humidity only for demonstration of the framework, being possible to include more types of sensors in the future. The procedure adopted for the construction took into account the exposure criteria of the WMO temperature and humidity sensors, ensuring that the measured data are relevant to the urban climate. At the end of the application of this methodology, we reached a prototype that implements the proposed framework also using the Arduino platform. All generated source code was made available in a public repository under free software license. Analyzing the descriptions of the sites studied in this work, we noticed some characteristics that make up the city of Feira de Santana in general. As for

the proportion of selected Local Climate Zones, the class that best represents Feira de Santana is the Compact low-rise (LCZ 3) evaluated in 40 % of the studied sites. In addition, the spatial arrangement of the zones with this classification is very homogeneous in the sense of proximity and adjacencies. We have identified serious sanitation problems that are clearly observed in the absence of sewage and water drainage. The stations were originally developed by us following the guidelines of WMO and Oke, and we achieved a low cost construction using open hardware.

Keywords: Local Climate Zones, Automated Data Acquisition System, SWE, Arduino, Feira de Santana.

Resumo

A sustentabilidade e as energias renováveis são assuntos fortemente discutidos e sua relevância na comunidade global não deve ser descartada, afinal os recursos naturais são limitados. Os problemas relacionados ao mau uso e esgotamento desses recursos, além da emissão de gases, ocorre principalmente dentro das cidades onde se desenvolvem a maioria das atividades humanas. Por esse motivo, entre outros, o interesse em monitorar fatores climáticos dentro das cidades está crescendo em todo o mundo. Nosso objetivo é identificar e classificar Zonas de Clima Local em sítios urbanos de Feira de Santana e propor uma infraestrutura de sensoriamento em escala local. Para alcançar a meta proposta, foi necessário explorar métodos de observação meteorológica em sítios urbanos; estabelecer um serviço de acesso aos dados brutos e uma interface para usuários finais; e desenvolver uma estação meteorológica capaz de mensurar os parâmetros investigados de forma representativa no contexto urbano. Dos métodos existentes para classificação de sítios urbanos, utilizamos Zonas de Climas Locais proposto por Stewart e Oke em um universo de trinta e cinco sítios espalhados pela cidade de Feira de Santana. O procedimento foi realizado em três etapas onde primeiramente foram coletados dados de temperatura e umidade utilizando a plataforma Arduino; além de observar e avaliar arborização, construções (tipos, altura, espaçamento e material), tipos de superfície, largura das ruas, tráfego de veículos e atividade humana. Adotamos como parâmetro um raio de 500m para área de fonte térmica. Como resultado, obtivemos a classificação dos sítios e construímos duas tabelas e um mapa para expor os dados coletados e observações realizadas identificando cada sítio e sua referida classe. A fim de cumprir a meta de desenvolver uma estação adaptada para o ambiente urbano, propomos neste trabalho a organização lógica de um framework que define a coleta dos dados por estações automáticas de baixo custo conectadas à internet, e a visualização desses dados geoespacializados através do 52° North SOS. Para a construção do protótipo das estações levamos em consideração a coleta de temperatura e umidade apenas para efeito de demonstração do framework, sendo possível a inclusão de mais tipos de sensores no futuro. O procedimento adotado para a construção das estações levou em consideração os critérios de exposição dos sensores de temperatura e umidade da WMO garantindo que os dados medidos são relevantes para o clima urbano. Ao final da aplicação desta metodologia, alcançamos um protótipo que implementa o framework proposto também utilizando a plataforma Arduino. Todo código-fonte gerado foi disponibilizado em repositório público sob licença de soft-

ware livre. Analisando as descrições dos sítios estudados neste trabalho, percebemos algumas características que compõem a cidade de Feira de Santana de forma geral. Quanto à proporção entre as Zonas de Clima Local elegidas, a classe que melhor representa Feira de Santana é a compacta de baixa elevação (LCZ 3) avaliada em 40% dos locais estudados. Além disso a disposição espacial das zonas com esta classificação é bem homogênea no sentido de proximidade e adjacências. Identificamos sérios problemas de saneamento básico que são claramente observados na falta de esgotos e escoamento de água. As estações de coleta foram originalmente desenvolvidas por nós seguindo as diretrizes da WMO e Oke, e alcançamos uma construção de baixo custo utilizando hardware aberto.

Palavras-chave: Zonas de Clima Local, Sistema de Aquisição Automática de Dados, SWE, Arduino, Feira de Santana.

Prefácio

Esta dissertação de mestrado foi submetida a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada.

A dissertação foi desenvolvida dentro do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PGCA) tendo como orientador a Dra. **Gracinete Bastos de Souza**.

Agradecimentos

Agradeço a Yahweh por me conceder saúde, sabedoria e meios de cursar este mestrado. Pela oportunidade de poder enxergar suas digitais em lugares tão distantes que meus olhos jamais poderiam alcançar.

À minha esposa, que desistiu de tudo para me acompanhar nesta jornada e pelo lindo presente que me deu chamado Heloísa. Obrigado pela paciência, me ajudar a manter a sanidade, e por estar comigo nos momentos mais difíceis, mesmo quando minha mente não estava lá para você.

Também quero dedicar meus votos de agradecimento ao Instituto Federal de Rondônia, onde sou professor, por me apoiar neste empreendimento confiando no retorno sobre o investimento realizado. Espero de todo o coração atender às expectativas e demandas, contribuindo com tudo que eu puder e um pouco mais.

Sumário

Abstract	i
Resumo	iii
Prefácio	v
Agradecimentos	vi
Sumário	vii
Lista de Publicações	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Figuras	xi
Lista de Quadros	xiii
Lista de Abreviações	xiv
Lista de Símbolos	xv
1 Introdução	1
1.1 Área de estudo	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Contribuições	4
1.4 Organização do Trabalho	4
2 Computação Aplicada no Ambiente Urbano	6
2.1 Espacialização da informação	7
2.2 Sistemas de Informação Geográfica	10
2.3 Internet das Coisas	12
2.4 Capacitação de Sensores para a Web	18
2.4.1 52°North SOS	22
2.4.2 52°North SensorWeb JS Client	25

3	Meteorologia urbana	27
3.1	Escalas horizontais e verticais	28
3.2	Métodos de classificação de sítios urbanos	29
3.3	Posicionamento de estações em sítios urbanos	38
4	Classificação das Zonas de Clima Local	40
4.1	Execução dos procedimentos	40
4.2	Resultados alcançados	45
5	Framework de sensoriamento	57
5.1	Arquitetura de integração	58
5.1.1	Camada de Percepção	60
5.1.2	Camada de Rede	61
5.1.3	Camada de Middleware	61
5.1.4	Camada de Aplicação	62
5.2	Resultados alcançados	63
6	Conclusões e sugestões	69
6.1	Aplicações	72
6.2	Pesquisas Futuras	73
	Referências Bibliográficas	75
A	Compilação e Implementação do 52° North SOS 4.x	81
A.1	Obtendo o arquivo WAR de distribuição	82
A.2	Compilando a partir do código-fonte	82
A.2.1	Configurações para Oracle	82
A.2.2	Configurações para Microsoft SQL Server	83
A.3	Compilando uma instância previamente configurada	84
A.4	Compilação/Implantação automática	85
A.5	Configuração do ambiente	87
A.5.1	Configuração do banco de dados PostgreSQL	87
A.5.2	Configuração do banco de dados Oracle	87
A.5.3	Configuração do banco de dados Microsoft SQL Server	88
A.6	Requerimentos de espaço para armazenamento	88
A.7	Executando a aplicação	88
A.7.1	Opções gerais da administração	89
A.7.2	Configurações do serviço	90
A.7.3	Carregando conjunto de dados de teste embarcado	91
B	Propriedades físicas de LCZ	92

Lista de Publicações

Simões, N. A. V. e Souza, G. B. (2016). Sensoriamento do clima local de sítios urbanos de Feira de Santana baseado em Internet das Coisas. In *III Workshop de Trabalhos de Pós-Graduação (WPOS)*, pp. 18–23, Maceió. SBC. ISSN 2177-4692. https://www.dropbox.com/sh/qj7arcyy3tjvj1h/AACYvKsw0iFeBb_mPzE_1656a/Proceedings_WPOS_2016.pdf?dl=0.

Simões, N. A. V. e Souza, G. B. (2016). A Low Cost Automated Data Acquisition System for Urban Sites Temperature and Humidity Monitoring Based in Internet of Things. In *1st Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT 2016)*, pp. 107–112, Belo Horizonte. IEEE. DOI 10.1109/INSCIT.2016.7598189. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7598189/>.

Lista de Tabelas

2.1	Comparação dos protocolos Bluetooth, NFC, UWB, Wi-Fi e ZigBee .	16
2.2	Estado de implementação atual do 52°North SOS na versão 4.3.8 . . .	23
3.1	Classificação de Zonas de Clima Local (LCZ) por tipos de construção	32
3.2	Classificação de Zonas de Clima Local (LCZ) por tipos de superfície .	33
3.3	Propriedades variáveis de superfícies em Zonas de Clima Local (LCZ)	34
4.1	Metadados coletados e classificação das Zonas de Clima Local de sítios urbanos de Feira de Santana	46
4.2	Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas	47
A.1	Requerimentos para instalação do 52°North SOS	81
B.1	Classificação Davenport de rugosidade efetiva do terreno	93
B.2	Valores de propriedades geométricas e da superfície de Zonas de Clima Local	94
B.3	Valores de propriedades térmicas, radiativas e metabólicas de Zonas de Clima Local	95

Lista de Figuras

2.1	Representação do Mapa Mundi com base do sistema de coordenadas geográficas ou terrestres	8
2.2	Representações vetoriais em duas dimensões	9
2.3	Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica	11
2.4	Paradigma de “Internet das Coisas” como um resultado da convergência de diferentes visões	15
2.5	Classificações de domínios de aplicação IoT	17
2.6	Arquitetura de Capacitação de Sensores para a Web – SWE	19
2.7	Framework do Serviço de Observação de Sensores – SOS 2.0	21
2.8	Arquitetura 52°North SOS em quatro camadas	24
2.9	52°North SensorWeb JS Client – aplicativo de visualização embarcado ao 52°North SOS com capacidades responsivas	25
3.1	Escalas climáticas e camadas verticais encontradas em áreas urbanas	29
3.2	Processo de classificação de Zonas de Clima Local pelo método de Stewart e Oke	34
3.3	Exemplo de área de fonte térmica calculada por Modelo Lagrangiano de Dispersão de Partículas	36
3.4	Geração de subclasses LCZ por combinações de tipos de construção e superfícies	37
3.5	Cálculo da relação de aspecto de um sítio ou pequena área	38
3.6	Exemplo de seleção do local de instalação de sensores a partir do cálculo de relação de aspecto das áreas de um sítio urbano	39
4.1	Mapa de Feira de Santana com pontos selecionados para o estudo	41
4.2	Protótipo montado sobre protoboard para aquisição de temperatura, umidade, ponto de orvalho e índice de calor in situ	42
4.3	Esquemático do protótipo de coleta de dados preliminares	43
4.4	Diagrama de atividades do protótipo de coleta de dados preliminares	43
4.5	Marcação das construções para conversão em KML e posterior cálculo da área construída no sítio	45
4.6	Mapa com a classificação das Zonas de Clima Local de sítios urbanos de Feira de Santana	56
5.1	Framework do Sistema de Aquisição Automática de Dados proposto	59

5.2	Possível cenário de comunicação utilizando a framework proposta . . .	59
5.3	Diagrama de tempo representando as recomendações da WMO para frequência de coleta de temperatura do ar (T) e umidade relativa (U)	61
5.4	Diagrama de classes do Sistema de Aquisição Automática de Dados . . .	62
5.5	Diagrama de atividades do Sistema de Aquisição Automática de Dados	63
5.6	Diagrama do circuito da UEFSWS	64
5.7	Componentes da UEFSWS montados em uma caixa ventilada	66
5.8	Caixa ventilada com entrada para AC e cabo de rede	66
6.1	Gráfico de proporção de Zonas de Clima Local de Feira de Santana . . .	70
6.2	Poças de água no encontro das ruas Joaquim Nabuco e Maracatú em Feira de Santana em (a) agosto de 2013 e (b) abril de 2016	71
A.1	Página inicial do painel administrativo de 52°North SOS	89
A.2	Opções do administrador 52°North SOS com a opção “Settings” selecionada	90
A.3	Configurações do serviço 52°North SOS service com a opção “Operations” selecionada	91

Lista de Quadros

4.1	Exemplo de saída gerada pelo protótipo para classificação dos sítios urbanos	42
5.1	Exemplo de requisição HTTP REST gerada pela UEFSWS	65
5.2	Exemplo de documento SOS válido para a inclusão de uma observação	68
A.1	Clonagem do repositório 52°North SOS e construções da aplicação . .	82
A.2	Construção do 52°North SOS com parâmetros de integração com Oracle 11g	83
A.3	Exemplo de arquivo de configuração para integração do 52°North SOS com Oracle	83
A.4	Construção do 52°North SOS com parâmetros de integração com Microsoft SQL Server	84
A.5	Criação de uma bases de dados PostgreSQL com suporte à extensão PostGIS	84
A.6	Preparação para edição do arquivo de conexão com o banco de dados	84
A.7	Propriedades padrão do arquivo de conexão do PostgreSQL	85
A.8	Construção do 52°North SOS com conexão ao banco de dados previamente configurada	85
A.9	Obtenção do script 52north-sos.sh, disponibilização do script localmente e início da instalação automatizada do 52°North SOS	85
A.10	Todos os comando aceitos por 52north-sos.sh	86
A.11	Comando SQLPlus para criar um usuário para uso com 52°North SOS	87

Lista de Abrebiações

Abreviação	Descrição
API	Application Programming Interface
EXI	Efficient XML Interchange
GPRS	General Packet Radio Services
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INFSO	Information Society and Media European Comission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
I^2C	Inter-integrated Circuit
IoT	Internet das Coisas
JSON	JavaScript Object Notation
KML	Keyhole Markup Language
KVP	Key Value Pair
LCZ	Zona de Clima Local
NFC	Near Field Communication
OGC	Open Geospatial Consortium
POX	Plain old XML
REST	Representational State Transfer
RFID	Identificação por Rádio-Frequência
RSL	Subcamada de Rugosidade (Roughness Sublayer)
RSSF	Redes de sensores em fio
RTC	Real-time clock
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SOAP	Simple Object Access Protocol
SOS	Sensor Observation Service
SWE	Sensor Web Enablement
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UCL	Camada de Cobertura Urbana (Urban Canopy Layer)
UML	Unified Modeling Language
UWB	Ultra-wideband
WMO	World Meteorological Organization
XML	eXtensible Markup Language

Lista de Símbolos

Símbolo	Descrição
R_c	Classe de rugosidade
Z_0	Comprimento de rugosidade
Z_d	Altura de deslocamento de partículas
Z_H	Altura média dos principais elementos irregulares da UCL
Z_r	Altura de dispersão da RSL

Capítulo 1

Introdução

A rápida explosão urbana promove crescimento sem planejamento ignorando cuidados quanto às condições naturais nos centros urbanos e seus arredores; isto poderá resultar em frequentes eventos climáticos nos sítios urbanos que os submeterão a vulnerabilidades como desastres naturais [Maric et al. 2015].

Nos dias atuais é comum assistir nos noticiários e acompanhar pelos portais de notícias, desastres naturais de grande escala acontecendo em todo o mundo. Enchentes, terremotos, deslizamentos de terra, secas, tempestades, e tantos outros eventos atemorizam a humanidade. A maioria dos discursos os apontam como sendo resultado de “mudanças climáticas” e “aquecimento global”, tendo como precursores o gasto excessivo de recursos naturais não renováveis e a emissão demasiada de gases nocivos à saúde humana e do planeta.

A sustentabilidade e as energias renováveis são assuntos fortemente discutidos e sua relevância na comunidade global não deve ser descartada, afinal os recursos naturais são limitados. É de longa data que todo o mundo se preocupa com as mudanças climáticas no planeta. Em escala global, o movimento em prol do clima se iniciou com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), fundada no Rio de Janeiro em 1992, com intenção de diminuir a emissão de gases de efeito estufa. Alguns acordos foram ratificados desde então, como o Protocolo de Kyoto e recentemente o Tratado de Paris [ONU 2015]. Muitos esforços são realizados não apenas com intenção de economizar recursos, mas também em favor da humanidade e sua qualidade de vida.

Entretanto, onde nascem os problemas do esgotamento de recursos e emissão de gases? Dentro das cidades, onde se desenvolvem a maioria das atividades humanas. Por esse motivo, o interesse em monitorar fatores climáticos dentro das cidades está crescendo em todo o mundo, mesmo nas pequenas e médias cidades, inclusive como uma solução para atrair novos residentes, investidores, turistas e mão-de-obra especializada.

Avanços recentes na tecnologia estão moldando cidadãos mais conectados e parti-

ceptivos, criando um ambiente direcionado ao conhecimento do contexto ao redor, que gera ações em resposta às situações percebidas.

A cada dia as pessoas têm se mostrado mais interessadas em meteorologia devido à larga divulgação em meios de comunicação em massa sobre os efeitos negativos das mudanças climáticas e sua relação com as atividades humanas, levando à empatia e ao senso de responsabilidade individual para resolver problemas que atingem o coletivo. Além disso, a meteorologia está ligada diretamente com o desempenho de diversas áreas de impacto direto na vida das pessoas como, por exemplo, no planejamento dos setores agrícola, energético (para geração de energia hidrelétrica), navegação marítima e aérea, pesca e turismo [INMET 2016c].

Quanto mais essa malha de cidadãos interconectados se multiplica, os dispositivos que permeiam as margens dessa rede passam a se tornar cada vez mais ativos com os novos conceitos de Internet das Coisas (IoT): uma rede de objetos interconectados capazes não apenas de coletar dados e controlar o mundo físico, mas também de prover serviços para troca de informações, análise, aplicações e comunicação.

O campo de tecnologia em IoT tem se intensificado atualmente com a aparição de diversas aplicações e protocolos. Para fins geoespaciais, uma especificação amplamente difundida tanto na indústria quanto na pesquisa é a Capacitação de Sensores para a Web (SWE) que permite os desenvolvedores criarem sensores e bases de dados de sensores que sejam interoperáveis, descobriáveis, acessíveis, consultáveis e usáveis através da Internet.

Por meio de ferramentas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TICs), as cidades têm a oportunidade de se tornar cada vez mais inteligentes e eficazes ao compreender o ambiente de forma específica. Quanto a este contexto, soluções atuais da comunidade científica incluem o controle de emissões e efluentes com uso de diferentes tipos de dispositivos, estimulando decisões para melhorar a qualidade do ar, água e o ambiente em geral; incitação da aprendizagem e participação social, com referência particular a categorias específicas de cidadãos como idosos e deficientes; e cuidados, manutenção e gerenciamento ativo de espaços públicos para melhorar a atratividade da cidade [Neirotti et al. 2014]. Neste trabalho propusemos limitar este “ambiente” a sítios urbanos, gerando conhecimento e ações planejadas a fim de sanar problemas localizados em áreas específicas da cidade que, por consequência, afetarão positivamente toda a atmosfera municipal.

Para alcançar uma infraestrutura que permita este cenário ideal, é preciso habilitar a coleta de dados em escala local fazendo-se conhecer a realidade imposta aos indivíduos em cada sítio urbano. E através das coleções de dados, permitir aos administradores do município a elaboração de planejamento estratégico, tendo em vista o novo conhecimento que será adquirido sobre a cidade.

A coleta de dados atmosféricos leva ao conhecimento necessário para projetar ambientes sustentáveis. Analisando estes dados será possível compreender e modelar como a geometria da infraestrutura das cidades e as muitas fontes de emissão influ-

enciam na meteorologia urbana [Kanda 2007, p. 363]. Para que isto se torne uma realidade, é necessário o uso de sensores embarcados no ambiente a fim de coletar uma variedade de dados que levam à identificação de poluição no ar, desperdício de energia, enchentes, desmoronamentos, ilhas de calor, conforto térmico e outros conhecimentos que emergem do sensoriamento. A atuação a partir da identificação pode aparecer como um planejamento estratégico para mitigar o problema, seja pela construção de áreas verdes numa ilha de calor, canais de esgoto em local de risco de enchentes, e outros mais. Por causa disso, o monitoramento dos muitos aspectos das cidades, habilitado pelas capacidades da Internet das Coisas, mostra-se como uma tendência na vigilância de saúde ambiental e gerenciamento de crises.

Precisamos, portanto, adquirir dados meteorológicos com maior cobertura contextualizada, provendo eficiência tanto na previsão quanto na compreensão do clima local. A partir deste nível de estudo será possível o desenvolvimento de novas ferramentas que podem prever com acurácia possibilidades de ocorrências e a magnitude de eventos climáticos em áreas de risco. Isto realmente poderá salvar vidas no futuro.

1.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de Feira de Santana, região entre o semiárido e o agreste da Bahia, que dista à 108 quilômetros a oeste da cidade de Salvador, capital do estado. Desde sua emancipação, em 1833, é conhecida por sua capacidade comercial e produção de matéria-prima [Queiroz et al. 2004].

Segundo dados demográficos do IBGE no Censo 2010, Feira de Santana possuía 556.642 habitantes, densidade demográfica de 416,03 hab./km², e seu contingente populacional, dentre todas as cidades do estado, é inferior apenas a Salvador. Tem-se notado nos últimos anos uma média aproximada de aumento populacional de oito mil habitantes por ano [IBGE 2016b]. Sua situação geográfica de eixo rodoviário é um dos fatores que contribuem para o crescimento populacional, sendo esta uma característica antiga da cidade. Para se ter uma ideia aproximada, a partir de estimativas feitas pelo IBGE para 2016, quando comparado ao censo de 2010, o Brasil apresentará crescimento de 5,41% [IBGE 2016d], enquanto que o estado da Bahia 8,98% [IBGE 2016c], e por fim Feira de Santana 11,85% [IBGE 2016a].

Quanto à meteorologia local, das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Feira de Santana contém duas delas [INMET 2016a, INMET 2016b]. Outra estação mais próxima está a cerca de 50 km em linha reta. Neste intervalo estão várias cidades sem qualquer tecnologia de sensoriamento climático registrado. Significa que toda a região vai tomar para si a análise de dados e previsões feitas em regiões pontuais de Feira de Santana. Ainda assim, o formato tradicional de coleta permite observar apenas o que seria a média dos climas locais do município, o que não garante determinar efetivamente o comportamento climático em cada sítio. Mesmo a criação de modelos numéricos para tal não seria viável sem dados reais

para validá-los, pois não existem quaisquer dados específicos do clima local de sítios urbanos de Feira de Santana.

1.2 Objetivos

Nosso objetivo é identificar e classificar Zonas de Clima Local em sítios urbanos de Feira de Santana e propor uma infraestrutura de sensoriamento em escala local. Para alcançar a meta proposta, foi necessário explorar métodos de observação meteorológica em sítios urbanos; estabelecer um serviço de acesso aos dados brutos e uma interface para usuários finais; e desenvolver uma estação meteorológica capaz de mensurar os parâmetros investigados de forma representativa no contexto urbano.

1.3 Contribuições

Deste trabalho, podemos destacar os seguintes pontos como contribuições originais:

- Classificação de Zonas de Clima Local e descrição de trinta e cinco sítios urbanos em Feira de Santana;
- Desenvolvimento de um script para automatização do processo de instalação do software 52°North SOS e todos seus requerimentos;
- Construção de um protótipo para aquisição automática de dados baseado em Internet das Coisas para monitoramento de temperatura do ar e umidade relativa;
- Proposta de framework para habilitação de instrumentação eletrônica na meteorologia urbana cobrindo sensoriamento, processamento e visualização de dados geoespacializados.

1.4 Organização do Trabalho

Estruturamos o trabalho para levar o leitor a compreender que relação tem a informática com os recentes avanços no monitoramento do meio ambiente, e a importância da prática de meteorologia urbana para uma melhor qualidade de vida dentro das cidades. Por isso o Capítulo 2 retrata sobre (a) a geração de dados para representação espacial de fenômenos climáticos; (b) uso de Sistemas de Informação Geográfica para analisar e processar esses dados; e (c) a inclusão de dispositivos eletrônicos que, habilitados para Internet, são capazes de monitorar ambientes urbanos para prover conhecimento sobre suas diferentes localidades.

No Capítulo 3 apresentamos as diferentes escalas de estudo do clima e os métodos presentes na literatura para realizar o processo de classificação de sítios urbanos, a fim de conduzir um estudo meteorológico. Também demonstramos a forma mais apropriada de se posicionar sensores em ambientes municipais para capturar dados que representem satisfatoriamente o clima na região.

Todo a execução do processo de classificação utilizado neste trabalho é descrita no Capítulo 4, onde também constam os resultados alcançados: identificação dos sítios urbanos com suas respectivas classes, metadados, descrições e ilustrações.

Adiante, no Capítulo 5, desenvolvemos uma proposta de framework que atende às especificações da Organização Mundial de Meteorologia, em conformidade com os padrões de Capacitação de Sensores para a Web, baseado em Internet das Coisas. Durante a progressão do capítulo, fazemos demonstração de um cenário possível de sua aplicação em Feira de Santana, além de exemplos de requisições trocadas nas comunicações entre camadas e um protótipo implementando os princípios estabelecidos no framework.

Concluimos a pesquisa no Capítulo 6 onde analisamos os resultados alcançados e descrevemos de forma geral um panorama sobre a situação atual de Feira de Santana no que tange à altura, tipo e material de que são feitas as construções; principais tipos de cobertura nas superfícies permeável e impermeável; e distribuição da vegetação. Além disso registramos problemas de saneamento, com foco principal no sítio Lagoa Grande, onde foi identificado desconforto térmico crítico e potenciais criadouros de mosquitos transmissores de Dengue, Chikungunya e Zika.

O processo de instalação do serviço que implementa a Camada de Aplicação descrita no framework está disponível no Apêndice A. Tabelas com propriedades físicas de Zonas de Clima Local, presentes no Apêndice B, foram utilizadas durante a classificação para consulta e validação.

Capítulo 2

Computação Aplicada no Ambiente Urbano

A cada dia, novas aplicações de tecnologias já consolidadas surgem com objetivo de melhorar a percepção da humanidade quanto ao ambiente onde vive. Trata-se de compreender causas de fenômenos, resultados possíveis e, principalmente, que decisões podem influenciar positivamente na vida da comunidade. Nisto a informática tem grande participação ao automatizar processos trabalhosos e provendo meios para ajudar em tomadas de decisão cruciais.

Assim como no estudo do clima, algumas atividades que envolvem a coleta de dados atribuindo a estes sua localização geográfica, têm tido sucesso na identificação de padrões e solução de problemas nas áreas da saúde [de Melo et al. 2011], geologia [Guimarães et al. 2011], controle de desastres naturais [Santos e de Araújo Romão 2010], agronomia [Vilela et al. 2010], e tantas outras. A informatização da geoespacialização de dados é contemplada nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Dada a necessidade da presença frequente em estudos de médio e longo prazo, nos quais as medições precisam ser realizadas em pequenos intervalos durante longos períodos, começaram a ser utilizadas tecnologias para aquisição automática de dados. Desta forma, nenhum ser humano precisa estar todo o tempo no local, sendo este o papel da máquina. A partir daí outras funcionalidades puderam ser incorporadas a estes sistemas como é o caso da Internet das Coisas que, apesar dos anos de pesquisa já empreendidos, ainda é novidade no mercado consumidor.

Acreditamos que grande parte da responsabilidade de ainda existirem poucas aplicações reais baseadas em IoT é devido à falta de protocolos abertos de comunicação entre dispositivos distintos, sendo a maioria proprietário. Entretanto, assim como foi com os padrões de rede no princípio, será também com protocolos IoT. Em estágio inicial, porém funcional, está protocolo de Capacitação de Sensores para a Web (SWE) que especifica formatos e interfaces que habilitam a interoperabilidade de

sistemas de sensores heterogêneos. Este protocolo é mantido pelo Consórcio Geoespacial Aberto (OGC) e está com uma comunidade cada vez maior, com crescente número de indústrias, pesquisadores e agências governamentais trabalhando para que este seja o padrão para a Internet das Coisas Geoespaciais.

2.1 Espacialização da informação

A localização efetiva de um objeto geográfico depende que esta seja descrita em relação a outros objetos de posições anteriormente conhecidas [Otten 2012]. Um sistema de coordenadas fixas garante, portanto, a determinação de qualquer ponto na superfície da terra. Dos sistemas de coordenadas existentes, as *coordenadas geográficas* ou *terrestres* são historicamente as mais antigas e populares, onde a determinação de um ponto dá-se na intersecção de meridiano e paralelo. Outras formas de representar posições na superfície terrestre são *coordenadas cartesianas* e *coordenadas UTM*.

Meridianos são círculos da esfera terrestre em que os planos abrangem o eixo dos polos. Como meridiano inicial, isto é, de onde a longitude começa a ser contada, é definido aquele que passa por Greenwich, um antigo observatório britânico. Este meridiano que corresponde a 0° serve como base para os cálculos de fusos horários e para dividir o planeta em leste e oeste medindo valores crescentes até $+180^\circ$ em direção ao leste e decrescentes até -180° ao oeste.

Paralelos são círculos da esfera terrestre perpendiculares ao eixo dos polos. O paralelo do Equador divide a Terra nos hemisférios norte e sul, iniciando a contagem em 0° até $+90^\circ$ em direção ao norte e -90° em direção ao sul.

Unidades não inteiras de graus podem ser expressas diretamente no formato decimal ou por suas subunidades de minutos e segundos como, por exemplo, $38,97^\circ$ ou $38^\circ 58' 12''$ (lê-se trinta e oito graus, cinquenta e oito minutos e doze segundos). *Minutos* de grau variam de $0'$ a $59'$ sendo $60'$ equivalentes a 1° . *Segundos* de minuto variam de $0''$ a $59''$ sendo $60''$ equivalentes a $1'$.

A distância angular medida de um determinado ponto da superfície até o meridiano de origem é dado o nome de *longitude*. Deste mesmo ponto até a linha do Equador, a distância angular é denominada *latitude*. A altitude, medida a partir do nível do mar, também pode ser incrementada para representar um vetor de três dimensões. A representação das linhas dos meridianos e paralelos pode ser vista no mapa da Figura 2.1.

Quando é realizada projeção de determinada localização num plano para permitir processamentos sistemáticos, ou seja, a criação de um mapa, este pode ser exposto em escalas diversas. Câmara e outros definem *escala* como “a relação entre as dimensões dos elementos representados em um mapa e a grandeza correspondente, medida sobre a superfície da Terra” [Câmara et al. 1996].

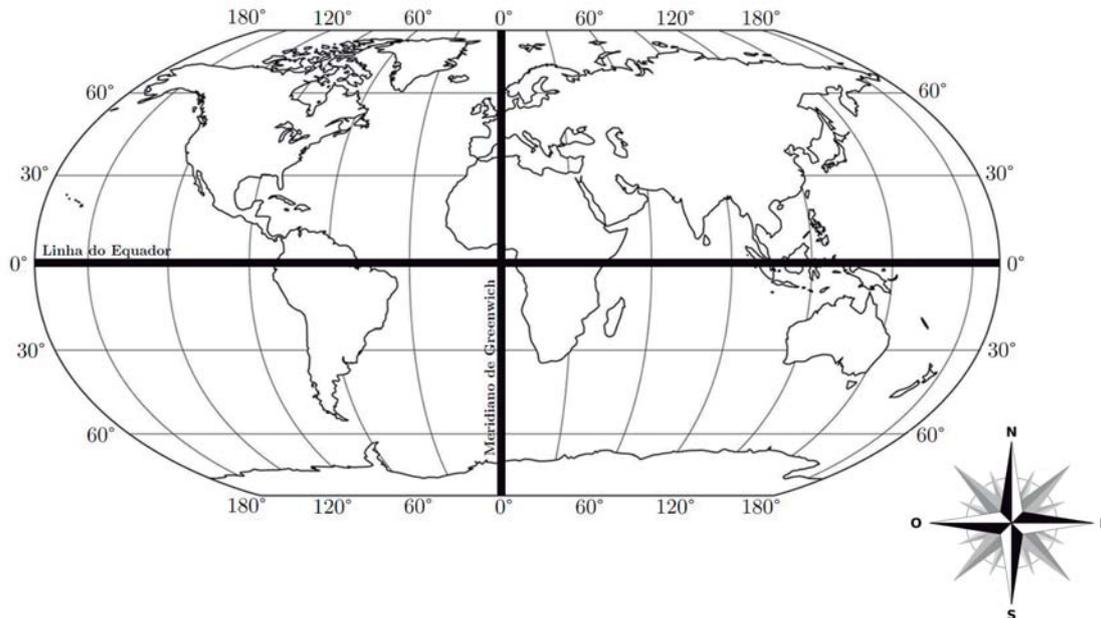


Figura 2.1: Representação do Mapa Mundial com base do sistema de coordenadas geográficas ou terrestres

A presença da escala é obrigatória em qualquer mapa e são descritas na forma de frações onde o denominador representa a medida real e numerador, a medida no mapa. As notações podem aparecer como 1:20.000 ou 1/20.000 (lê-se um para vinte mil) e indica, neste caso, que cada unidade de medida no mapa corresponde a 20.000 unidades da mesma medida sobre a Terra. Caso a unidade seja em centímetros, cada 1 cm no mapa equivale na realidade a 20.000 cm.

É preciso cuidado com o tamanho das escalas, pois denominadores são inversamente proporcionais ao tamanho da escala. Sendo assim, uma escala de 1:200.000 é menor que 1:20.000. Isto quer dizer que em escalas maiores (com denominadores menores) os detalhes são representados com maior clareza.

Espacializar uma informação traz o conceito geográfico do metadado, isto é, a descrição das condições em que o dado foi capturado. Ao atribuir o contexto do dado obtêm-se informação com semântica mais apurada: além do próprio dado, podem ser armazenadas a localização geográfica, data, hora e tantas outras informações relacionadas ao evento e sua circunvizinhança. É comum encontrar soluções que implementam geoespacialização de forma a compreender a distribuição espacial de dados provindos de fenômenos ocorridos numa região.

Devido ao alto crescimento no uso de dispositivos móveis inteligentes, a geoespacialização da informação tem sido utilizada fortemente para promover serviços que dependem da localização de usuários e fenômenos ocorridos próximo a eles. Para tanto, são colhidos dados como precipitação, velocidade do vento e temperatura, os quais podem ser utilizados para informar da necessidade do guarda-chuva ou

protetor solar ao sair, por exemplo.

Além de serviços de utilidade pública destinados ao cidadão, a percepção visual da distribuição espacial de problemas das mais diversas áreas permite-nos enxergar padrões onde, sem geoespacialização, seria mais difícil de se perceber. Ela habilita determinar, por exemplo, a evidência de contágio de uma doença, relação entre delitos e características socioeconômicas do local, melhor tipo de produção agrícola que a região suporta, e muitas outras aplicações que dependam de análise do espaço para identificar propriedades e relacionamentos que levam em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita [Câmara et al. 2004].

O armazenamento desses dados demanda bancos de dados especializados no tratamento deste tipo de informação, chamados *Bancos de Dados Geográfico* [Câmara 2005]. Enquanto que grandezas escalares são facilmente armazenadas e representadas, a localização geográfica em sistemas espaciais aparece na forma vetorial para evidenciar um ponto (ou conjunto de pontos), retângulos, linhas e regiões.

“As representações vetoriais, têm em comum o fato de que os domínios espaciais são representados por conjuntos de traços, deslocamentos ou vetores, adequadamente referenciados” [Rodrigues 1990]. Este tipo de representação facilita a manipulação do dado podendo determinar localização e forma geométrica de elementos a partir de pares de coordenadas como ilustrado na Figura 2.2.

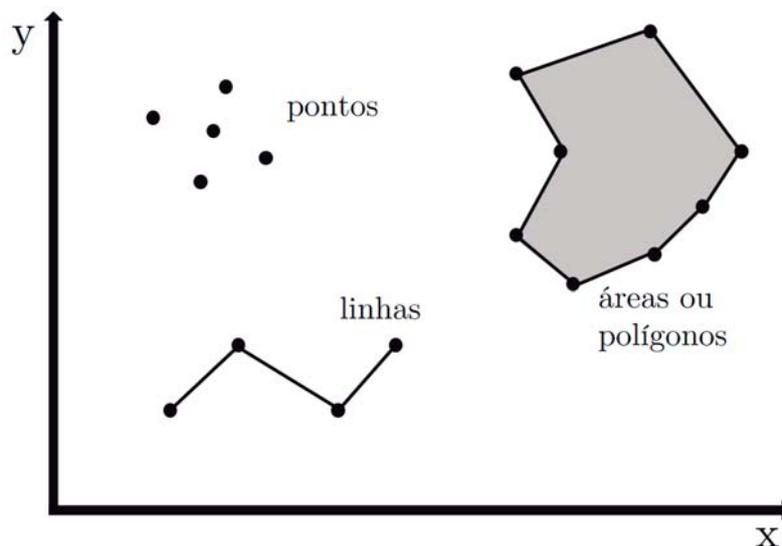


Figura 2.2: Representações vetoriais em duas dimensões

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais reconhece os seguintes elementos como estruturas vetoriais [INPE 2002, p. 32–33]:

- *Pontos* são representados por matrizes bidimensionais informando valores nos eixos X e Y, que dependem da escala. Uma forma comum de apresentar pontos é pelo sistema de coordenadas geográficas para atribuir o objeto a determinado

ponto na superfície terrestre ou mesmo para indicar elementos com pequenas dimensões espaciais.

- *Linhas* são compostas por no mínimo dois pontos interligados por segmentos de reta e expressam elementos que possuem comprimento ou extensão linear cuja largura não convém ser exibida graficamente, como estradas, linhas de transmissão elétrica e rios. Os pontos das extremidades são chamados de *nós* e os intermediários de *vértices*.
- *Áreas* ou *polígonos* possuem no mínimo quatro pontos interligados sendo que os primeiro e último têm coordenadas idênticas gerando uma forma geométrica com área e perímetro. Este tipo de representação pode utilizada para espacializar de quadras a continentes inteiros.

2.2 Sistemas de Informação Geográfica

Analisar e manipular os dados geoespacializados por conta própria não são tarefas fáceis de se executar. *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG) surgem neste enfoque como solução para estabelecer um meio de visualização de dados geoespacializados e apoio à tomada de decisões e análises. Há uma ampla variedade de aplicações em que SIG são aplicáveis como pode ser visto na literatura em planejamento urbano [Leite e Brito 2012], arqueologia [Ferreira e Ferreira 2013] e sustentabilidade [Hossain et al. 2011].

SIG são gerenciadores de dados geográficos, dotados de um conjunto de ferramentas e algoritmos para manipular esses dados. Para isto coordena uma sequência de processos de conversão, desde a coleta até a visualização. De forma geral, os SIG devem possuir uma interface com usuário que permita entrada de dados e consultas que levarão a cabo às funções de processamento responsáveis por recuperar os dados armazenados e então produzir uma saída na interface, podendo gerar um ciclo retroalimentável. A Figura 2.3 indica a dependência entre esses componentes.

As áreas de aplicação de SIG são caracterizados por seu objetivo e forma de tratamento dos dados. Um mesmo conjunto de dados pode receber abordagens diferentes para resolver problemas diferentes. Cada aplicação vai requerer manipulação de fenômenos distintos com perfis de usuário bastante variados. Por conta disto, os SIG estão cada vez mais se especializando e ganhando novas abordagens mais precisas e direcionadas à resolução de problemas específicos.

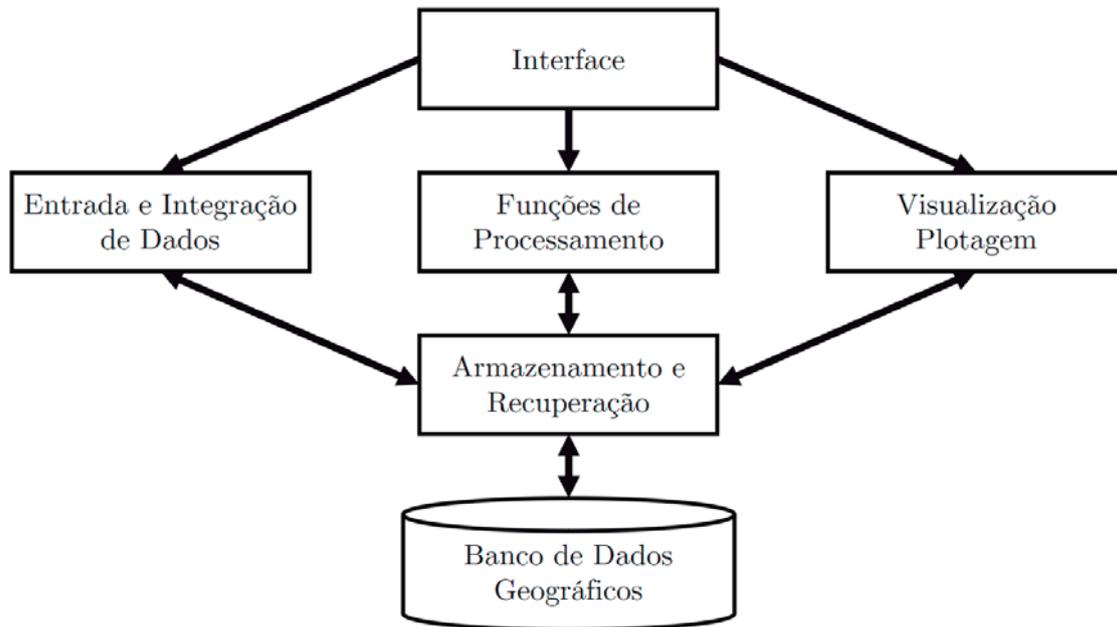


Figura 2.3: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica
Adaptado de Câmara e outros [Câmara et al. 1996].

Na literatura as aplicações SIG são classificadas em [Câmara 2005]:

- *Aplicações socioeconômicas*: abordam fatores que envolvem seres humanos e sua ocupação no espaço, infraestrutura e uso da terra. Estão relacionadas informações de propriedades, construções, população, serviços de utilidade pública e atividades econômicas;
- *Aplicações ambientais*: tratam do meio ambiente e uso de recursos naturais. Incluem esta categoria modelagem do clima, previsão do tempo e monitoramento de parâmetros climáticos;
- *Aplicações de gerenciamento*: auxiliam na tomada de decisão e alocação de recursos para solucionar problemas ou conservar determinadas características. Tráfego urbano, controle de obras, defesa civil e localização de serviços (hospitais, delegacias) são exemplos dessa classe.

Pelas características abordadas, esta pesquisa encaixa-se na classificação de Aplicações Ambientais, por colaborar no monitoramento climático.

Para reproduzir objetos, fenômenos e fatos ocorridos na superfície terrestre, em SIG são utilizados *dados geográficos* ou *dados georreferenciados*, através dos quais podemos também informar localização e momento ou período do evento registrado. Há ao menos três características fundamentais que dados georreferenciados devem contemplar: (a) características não-espaciais, ao identificar o fenômeno com nome e tipo; (b) características espaciais, provendo a localização do evento; e (c) características temporais, para informar momento e duração dos dados coletados [Câmara et al. 1996].

2.3 Internet das Coisas

Avanços em tecnologias de comunicação sem fio tiveram papel importante a desempenhar na história humana. E hoje com sua popularização, a proporção entre dispositivos dessa natureza e humanos é próxima de um para um [Atzori et al. 2010]. Entretanto com a redução de tamanho, peso, consumo de energia e custo de produção, essa taxa crescerá ordens de magnitude permitindo integrar quase que qualquer objeto às redes, o que leva ao conceito de Internet das Coisas (IoT).

Assim como ouvir ou tocar, *sensores* são as extensões de nossa percepção do mundo. Eles podem ser montados até mesmo em condições extremas onde nenhum ser humano poderia sobreviver. Sensores são comumente usados para coletar dados físicos escalares da natureza como temperatura, pressão e radiação; atualmente seu uso inclui captura de som e imagem. Além disso possuem recursos de processamento, análise e disseminação da informação coletada. O uso de sensores é justificado pelos benefícios já comprovados na indústria, carros e dispositivos eletrônicos, enquanto que caminha aos poucos nos campos de monitoramento ambiental e cuidados com saúde. Propostas recentes contemplam a otimização de processos na indústria, aumento na segurança, minimização do consumo de combustível no transporte de pessoas e cargas, melhor desempenho no consumo de água e energia elétrica e tantas outras [Seppa 2012].

Na taxonomia de redes de sensores, um sensor é denominado *nó*. Uma *rede de sensores* consiste em um certo número de nós, que pode ser um número elevado, comunicando resultados de sua coleta através dessa rede a um nó especial chamado *sink* [Yick et al. 2008]. Em certos tipos de rede, o sink tem atribuições que vão além de centralizar a comunicação da rede como veremos a seguir.

Existe uma grande quantidade de variáveis que podem ser medidas por sensores, e uma vasta disponibilidade de soluções para adquiri-las. A diferença entre cada uma reside principalmente nos gargalos relacionados à transferência de dados, formas de controle e tratamento de dados. Baseado nas classificações de Seppa, dividimos as tecnologias de rede de sensores em cinco categorias [Seppa 2012]:

- *Redes de sensores sem fio* (RSSF): nesta categoria os sensores participam de uma rede em que os dados são transmitidos sem o uso de fios. Por este motivo, surgem diversos problemas como limitação do processamento, capacidade de armazenamento, largura de banda e uso de bateria para suprimento de energia, sendo este último de grande preocupação. As soluções mais utilizadas neste tipo de rede são baseadas no padrão IEEE 802.15.4 que especifica o funcionamento das camadas de rede¹ Física e Enlace para alcançar baixo consumo de energia, e comunicação com baixa taxa de bits. Devido a essas limitações,

¹Camadas de rede formam uma pilha abstrata de níveis que define uma arquitetura de rede ao estabelecer uma lógica de funcionamento e delegando atribuições específicas a cada camada. Em redes de sensores, as camadas são estabelecidas e descritas pela Arquitetura Internet [Socolofsky e Kale 1991].

pouco processamento é realizado nos nós delegando a maior parte do processamento para os sinks que possuem fonte de alimentação ativa. A topologia é autoconfigurável e os próprios nós determinam o caminho ideal para levar os dados até o sink, por isso adicionar ou retirar nós da rede é simples por conta de sua adaptação automática.

- *Redes móveis*: existe uma grande quantidade de tecnologias que habilitam mobilidade às redes de sensores, por isso citaremos apenas as mais utilizadas que são Bluetooth, NFC, UWB, Wi-fi e ZigBee. Na Tabela 2.1 resumimos as especificações técnicas de cada uma dessas tecnologias baseando-nos nas comparações realizadas por Lee, Su, e Shen e também por Chhabra [Lee et al. 2007, Chhabra 2013].
 - *Bluetooth* opera com rádio de curto alcance sob o padrão IEEE 802.15.1, desenvolvido com intenção de conectar periféricos próximos a uma estação central como um computador ao mouse, teclado e outros, apesar de atualmente seu uso se estender à troca de informações entre celulares e computadores.
 - *Near Field Communication* (NFC) surgiu da integração da marcação RFID em telefones móveis e como pode ser entendido por seu nome, traduzido em algo como comunicação por campo de proximidade, o alcance da transmissão é de poucos centímetros. As aplicações atuais mais utilizadas são voltadas a pagamentos (como Google Wallet e Apple Pay) e ticketing (passagens de ônibus, metrô ou avião). A característica mais vantajosa é a simplicidade da interface de comunicação e interação com sensores ativada por um toque.
 - *Ultra-wideband* (UWB) é um protocolo de comunicação sem fio utilizado principalmente em locais fechados onde se deseja trafegar grandes quantidades de dados como multimídia e que o ambiente contemple o curto alcance do sinal. O padrão da indústria que define sua arquitetura é IEEE 802.15.3.
 - *Wi-fi* foi extremamente disseminado nas últimas décadas, muito utilizado em residências e empresas principalmente por ser este o padrão para redes locais sem fio IEEE 802.11a/b/g/n/ac que permite conexão à Internet.
 - *ZigBee* também se comunica em curtas distâncias, por isso todos os nós são capazes de se comunicar entre si para formar uma malha que cubra grandes áreas, isto é, os dados são repassados de nó a nó até chegar ao destino. O baixo consumo de energia e flexibilidade nos protocolos fazem com esta tecnologia seja amplamente utilizada em redes de sensores.
- *Redes de telefonia móvel celular*: o uso deste tipo de rede para uso de sensores é possível quando há fonte de energia elétrica disponível e a mensuração crie benefícios econômicos significantes. Redes GPRS - General Packet Radio Services - e 3G são eficientes devido sua atual cobertura que em alguns

casos atendem a praticamente países inteiros, não havendo necessidade de se criar uma infraestrutura completamente nova. As velocidades de comunicação variam, teoricamente, de 9,6 a 2048 kbps [Singal 2010, p. 10]

- *Redes de sensores cabeadas*: a infraestrutura de rede existente nas casas, empresas e repartições públicas pode ser utilizada para transferir dados provenientes de sensores. Aplicações com sensores visuais em segurança e monitoramento são encontradas com facilidade nesses cenários. Além de dados, a mesma rede deve ser utilizada para suprir a demanda de energia dos nós [Seppa 2012]. A velocidade de entrega dos dados depende da tecnologia do cabeamento, como par-trançado ou fibra óptica.
- *Redes de sensores combinadas*: este tipo de rede mixada leva em conta os pontos positivos e negativos das redes de sensores sem fio e cabeadas, aplicando o melhor dos dois contextos para atingir melhores resultados. Aplica-se a facilidade de instalação, comunicação e mobilidade das redes de sensores sem fio com o suprimento contínuo de energia das redes cabeadas. Desta forma, protocolos mais complexos podem ser utilizados nas camadas de aplicação, transporte e rede, como para compressão e controle de erros.

O crescente uso da computação ubíqua e pervasiva através dos sensores e atuadores cria a *Internet das Coisas* (IoT), construída invisivelmente e embarcada no ambiente. A Internet atual está evoluindo para uma rede de objetos interconectados capazes não apenas de coletar dados e controlar o mundo físico, mas também de prover serviços para troca de informação, análise, aplicações e comunicação. Isto mostra a possibilidade de transformar as cidades de hoje em cidades inteligentes totalmente integradas.

A ideia básica do conceito de IoT está na presença pervasiva ao nosso redor de uma variedade de coisas ou objetos, tais como dispositivos móveis, atuadores, sensores, marcadores de identificação por radiofrequência (RFID) e outros, os quais são capazes de interagir e cooperar entre si para atingir objetivos em comum.

Os resultados alcançáveis tendem a exercer alto impacto em muitos aspectos da vida e comportamento de seus potenciais usuários. Partindo do ponto de vista de um usuário comum, a introdução desses conceitos será mais visível e bem aceita nas áreas profissional e doméstica ao desempenhar papel fundamental em doméstica (robótica doméstica), auxílio habitacional, cuidados com saúde, aprendizagem e outros cenários de aplicações possíveis num futuro próximo. Da perspectiva do usuário empresarial, espera-se resultados como em automação e manufatura industrial, gerenciamento de negócio e processos, logística e transporte inteligente de bens e pessoas [Atzori et al. 2010].

Devido sua natureza multidisciplinar é difícil estabelecer uma definição clara do que significa e até onde se estende o domínio de IoT quanto às implicações técnicas, econômicas e sociais. Parte do problema se inicia pela própria composição do termo “Internet das Coisas”: o primeiro termo explicita a visão orientada à rede,

enquanto o segundo foca em objetos genéricos que serão integrados sob uma mesma arquitetura. A partir daí diferenças podem ocorrer dependendo da forma como problema é encarado, se pela perspectiva de “orientado à Internet” ou “orientado às Coisas”. Ainda que a Internet e as Coisas sejam plenamente conhecidas individualmente (neste caso as Coisas são estabelecidas pelos interesses, finalidades e contextos), juntas assumem um nível de inovação disruptível no conhecimento atual das TICs.

Desta forma, a Sociedade da Informação e Mídia da Comissão Europeia constrói a semântica de IoT como sendo “uma rede mundial de objetos interconectados unicamente endereçáveis, baseada em protocolos de comunicação padrão”, com grande número de objetos heterogêneos envolvidos no processo [INFSO 2008, tradução nossa].

O endereçamento único dos objetos e a representação e histórico das trocas de informações são os problemas mais desafiadores trazendo uma terceira perspectiva de IoT “orientada à semântica”. Na Figura 2.4 as tecnologias, padrões e conceitos são destacados em relação às visões sobre IoT demonstrando que o paradigma deve resultar da intersecção das três disposições abordadas.

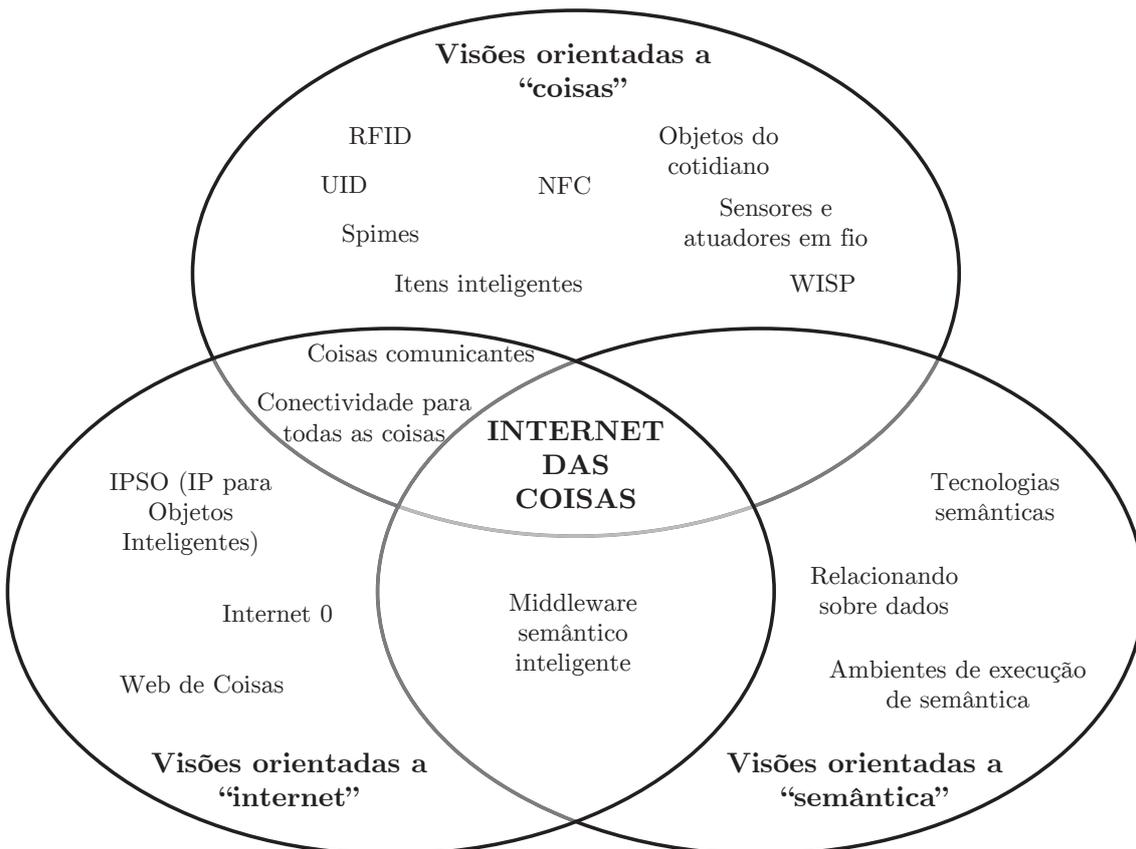


Figura 2.4: Paradigma de “Internet das Coisas” como um resultado da convergência de diferentes visões

Adaptado de Atzori e outros [Atzori et al. 2010].

Tabela 2.1: Comparação dos protocolos Bluetooth, NFC, UWB, Wi-Fi e ZigBee

Especificação	Bluetooth	NFC	UWB	Wi-Fi	ZigBee
Padrão IEEE	802.15.1	802.2	802.15.3	802.11a/b/g	802.15.4
Banda de frequência	2,4 GHz	13,56 MHz	3,1 - 10,6 GHz	2,4 / 5 GHz	868/915 MHz ou 2,4 GHz
Taxa máxima de transferência	3 Mbps	424 Kbps	110 Mbps	54 Mbps	250 Kbps
Alcance nominal	1 - 100m	< 0,2m	10m	100m	10 - 100m
Potência TX nominal	0 - 10 dBm	20 / 23 dBm	-41,3 dBm/MHz	15 - 20 dBm	(-25) - 0 dBm
Número de canais de RF	79	1	1 - 15	14 (2,4 GHz)	1/10; 16
Largura de banda	1 MHz	14 KHz	500 MHz - 7.5 GHz	20/22 MHz	0,3/0,6/2 MHz
Tipo de modulação	GFSK	ASK	BPSK, QPSK	BPSK, QPSK, COFDM, CCK, M-QAM	BPSK (+ASK), O-QPSK
Dispersão	FHSS	N/A	DS-UWB, MB-OFDM	DSSS, CCK, OFDM	DSSS
Mecanismo de coexistência	Salto de freq. adaptativa	N/A	Salto de freq. adaptativa	Seleção dinâmica de freq., controle de potência de transmissão (802.11h)	Seleção dinâmica de freq.
Célula básica	Piconet	P2P	Piconet	BSS	Star
Extensão das células básicas	Scatternet	N/A	P2P	ESS	Árvore cluster, Mesh
Número máximo de nós	8	2	8	2007	> 65000
Encriptação	Cifra de fluxo E0	AES	Cifra de bloco AES (CTR, modo contador)	Cifra de fluxo RC4 (WEP), Cifra de bloco AES (CTR, modo contador)	Cifra de bloco AES (CTR, modo contador)
Autenticação	Shared secret	In-built	CBC-MAC	WPA2	CBC-MAC
Proteção de dados	CRC 16 bits	CRC 32 bits	CRC 32 bits	CRC 32 bits	CRC 16 bits

Acrônimos: ASK (amplitude shift keying), GFSK (Gaussian frequency SK), BPSK/QPSK (binary/quadrature phase SK), O-QPSK (offset-QPSK), OFDM (orthogonal frequency division multiplexing), COFDM (coded OFDM), MB-OFDM (multiband OFDM), M-QAM (M-ary quadrature amplitude modulation), CCK (complementary code keying), FHSS/DSSS (frequency hopping/direct sequence spread spectrum), BSS/ESS (basic/extended service set), AES (advanced encryption standard), WEP (wired equivalent privacy), WPA (Wi-Fi protected access), CBC-MAC (cipher block chaining message authentication code), CCM (CTR with CBC-MAC), CRC (cyclic redundancy check), P2P (peer-to-peer).

Existem diversos domínios de aplicação e ambientes em que IoT pode ser aplicada e trazer melhor qualidade de vida à sociedade. Entretanto, apesar do grande número de possíveis oportunidades que esta tecnologia trará, apenas uma pequena parte está hoje disponível para uso efetivo. Estar em casa, na academia, durante uma viagem, quando doente, fazendo compras ou no trabalho, são situações em que IoT pode atuar. Contudo, como argumentado por Atzori e outros “esses ambientes estão neste momento equipados com objetos apenas com inteligência primitiva, na maior parte do tempo sem qualquer capacidade de comunicação” [Atzori et al. 2010, tradução nossa].

Os mesmos autores nomearam domínios de aplicação em IoT classificando-os com base na heterogeneidade, cobertura, tipo de rede disponível, escala, repetibilidade, envolvimento do usuário e impacto. As classificações de domínio estão descritas com exemplos de aplicações na Figura 2.5.

Os domínios são divididos em (a) transporte e logística, (b) cuidados com saúde, (c) ambientes inteligentes (casa, escritório, fábrica), (d) pessoal e social, e ainda adicionam um quinto domínio para implementações em que tecnologias e/ou sociedades ainda não estão prontos para receber: (e) futurístico. Percebe-se a forte influência do critério de envolvimento do usuário ao dividir os domínios pela forma como a informação será utilizada por cada usuário, segundo seus próprios objetivos.

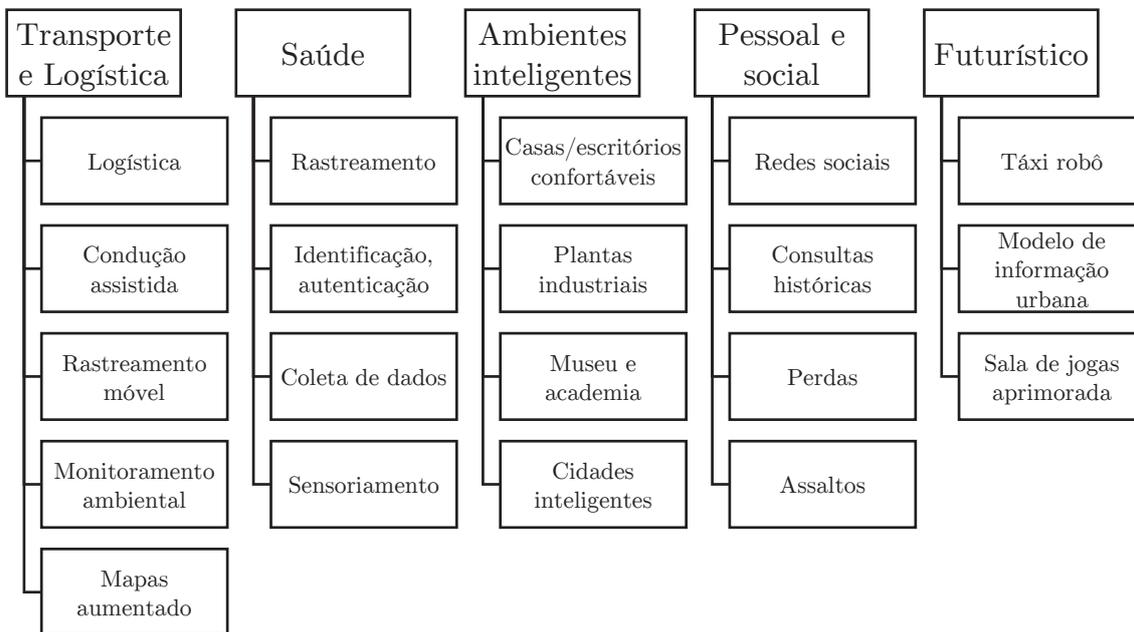


Figura 2.5: Classificações de domínios de aplicação IoT
Adaptado de Atzori e outros [Atzori et al. 2010].

Seguindo esta classificação, o trabalho proposto se encaixa nos domínios de transporte e logística, saúde e ambientes inteligentes, em suas respectivas subáreas de monitoramento ambiental, sensoriamento e cidades inteligentes; apesar de esta úl-

tima não constar explicitamente no domínio de ambientes inteligentes de Atzori, porém o contexto permite a inclusão de nossa parte.

Sentir o clima pode ser caro, mesmo para adquirir poucos parâmetros. O preço varia na qualidade de materiais usados para construir os sensores, qualidade do dado adquirido (sensibilidade e intervalo de trabalho) e recursos disponíveis para mensurar. Se tratando de clima local, um grande número de estações seria necessário para se cobrir uma cidade inteira, o que se mostra inviável.

Pensando nisto, usar estações meteorológicas tradicionais não é uma opção. Mas olhando para as conquistas recentes em IoT é possível construir redes de sensores com qualidade similar à das estações tradicionais por um preço mais baixo, usando microcontroladores e sensores digitais, trafegando as mensurações em infraestrutura pré-existente de construções próximas para enviar dados pela Internet.

2.4 Capacitação de Sensores para a Web

Devido a heterogeneidade de tecnologias existentes em IoT, a interoperabilidade entre diferentes sistemas geoespaciais poderia ser impraticável se não fossem os esforços do Consórcio Geoespacial Aberto (OGC) em estabelecer o padrão de Capacitação de Sensores para a Web (SWE). Este protocolo é composto por uma série de documentos que especificam modelos e interfaces de comunicação para permitir os desenvolvedores criarem sensores e bases de dados de sensores que sejam descobríveis, acessíveis, consultáveis e usáveis através da Internet. Para que isto seja possível, são abstraídos por completo detalhes de comunicação e componentes de hardware. SWE é atualmente um padrão de grande importância por sua maturidade e amplo suporte provindo da pesquisa e indústria [Kamel Boulos et al. 2011].

OGC é um consórcio industrial internacional de mais de 330 companhias, agências governamentais, organizações de pesquisa e universidades participando num processo consensual para desenvolver padrões de interface disponibilizados publicamente [OGC 2016b].

A arquitetura SWE (ver Figura 2.6) permite (a) a descoberta de sistemas de sensores, observações e os processos envolvidos em cada observação; (b) determinar as capacidades do sensor e a qualidade das medições; (c) acessar parâmetros do sensor que permitem os programas processar e geolocalizar observações; (d) recuperar observações de um ponto específico ou área em tempo real ou período de tempo; (e) solicitar aquisições de interesse aos sensores; e (f) acompanhamento e publicação de alertas baseado em critérios determinados.

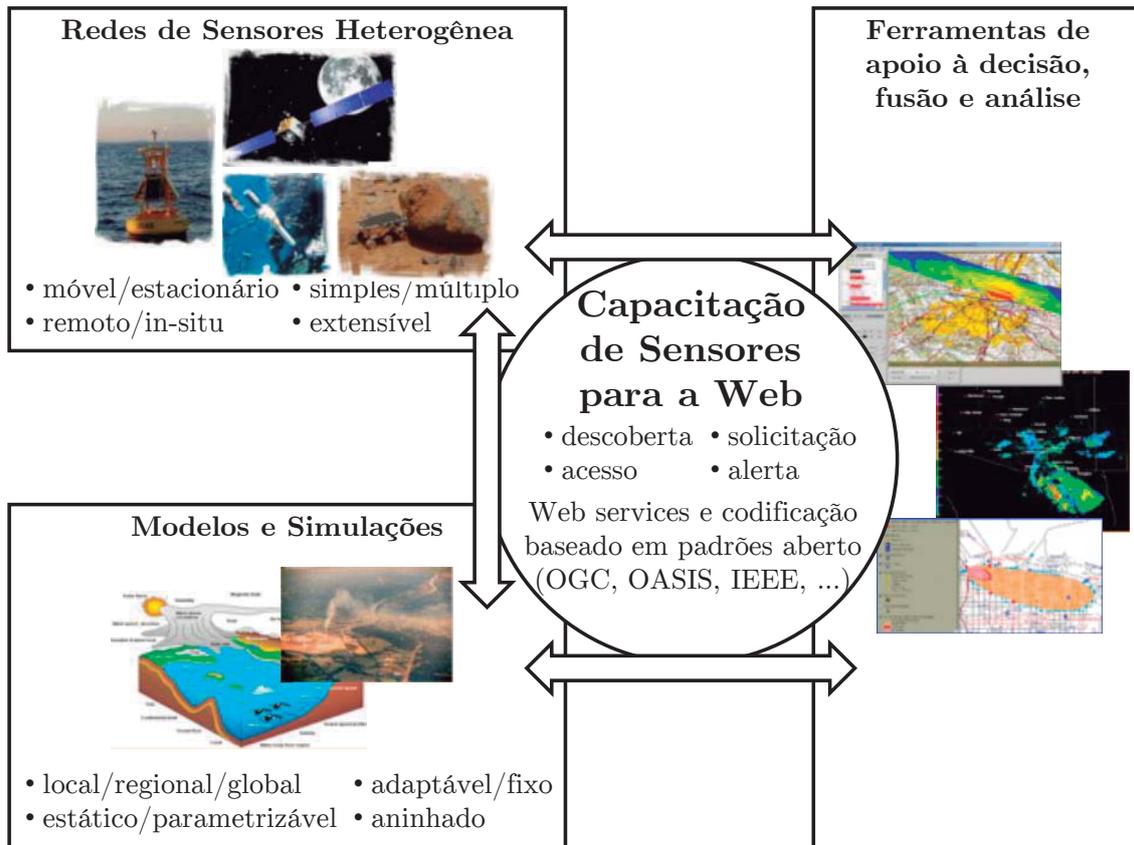


Figura 2.6: Arquitetura de Capacitação de Sensores para a Web – SWE
Adaptado de OGC [OGC 2008].

Na prática, a existência do SWE é mantida pela aplicação de diversos documentos que descrevem sensores e suas observações e várias outras definições de interface para web service². Os principais padrões OGC que compõem SWE são:

- Observações & Mensurações – O&M [OGC 2011a]: descrição das observações e mensurações do sensor num formato de modelos generalizados e codificações XML com resultado expresso em quantidades, categorias, vetores, composição de vetores e valores temporais ou geométricos;
- Linguagem de Modelo de Sensores – SensorML [OGC 2014]: modelos padrão e esquemas XML para descrever semanticamente processos internos de sensores, sistemas de processamento de observações e geolocalidade, sendo este um dos protocolos de implementação mais relevantes para o SWE. Promove interoperabilidade, num primeiro momento a nível sintático e depois a nível semântico, pela adoção de ontologias e mediação semântica. A informação provida inclui características geométricas e observacionais, descrição e docu-

²Web service permite a comunicação e interação entre sistemas distintos através da troca de informações por requisições HTTP, protocolo base de comunicações na Internet, em um formato estrutural específico como XML ou JSON.

mentação do sensor, e histórico da criação, modificação, inspeção ou instalação de componentes;

- Padrão de Protocolo PUCK [OGC 2012a]: define um protocolo de comunicação com instrumentos conectados por RS232 ou Ethernet. Enquanto a maioria dos equipamentos necessitam de instalação e configuração minuciosas, PUCK pode recuperar metadados e outras informações no formato SensorML diretamente dos dispositivos sem necessidade de configuração prévia, bastando estar devidamente conectado por qualquer uma das portas de comunicação. Isso é de grande ajuda durante a inserção de novos nós numa rede de sensores, por isso diversos fabricantes têm embarcado este protocolo juntamente com o firmware de seus sensores;
- Serviço de Observação de Sensores – SOS [OGC 2012b]: interface de web service para obter observações e descrições de um ou mais sensores, permitindo consultas e acesso a metadados. Possui funções para registrar e remover sensores da rede, e mesmo para inserir novas observações;
- Serviço de Planejamento de Sensores – SPS [OGC 2011b]: interface de web service em que o usuário pode interagir com a rede de sensores enviando instruções quanto ao comportamento da rede que podem depender de eventos específicos como, por exemplo, enviar imagens a cada 1 segundo ao invés de 1 minuto caso haja aumento repentino de dióxido de carbono e temperatura na região florestal (provável incêndio);
- Modelo Comum de Dados SWE [OGC 2011c]: define modelos de dados de baixo nível para troca de dados de sensores entre nós da arquitetura SWE. Permite que aplicações e/ou servidores possam estruturar, codificar e transmitir conjuntos de dados de sensores de forma semântica e autodescritiva;
- Modelo de Serviço SWE [OGC 2011d]: protocolo que define oito pacotes com tipos de dados de uso comum em todos os serviços SWE. Cinco desses pacotes especificam tipos de requisição e resposta a operações.

Dos padrões disponibilizados em SWE, o Serviço de Observação de Sensores (SOS) é o mais relevante para compreender o desenvolvimento deste trabalho. Esta especificação, adotada em 2012, provê uma interface baseada em Internet para gerenciamento e recuperação de observações e metadados a partir de sistemas de sensores heterogêneos, incluindo sensores móveis ou fixos, locais ou remotos [OGC 2012b].

Atualmente em sua versão 2.0, SOS especifica operações de uma classe principal e quatro extensões baseadas nela, com ilustração na Figura 2.7, adicionando funcionalidades importantes ao serviço:

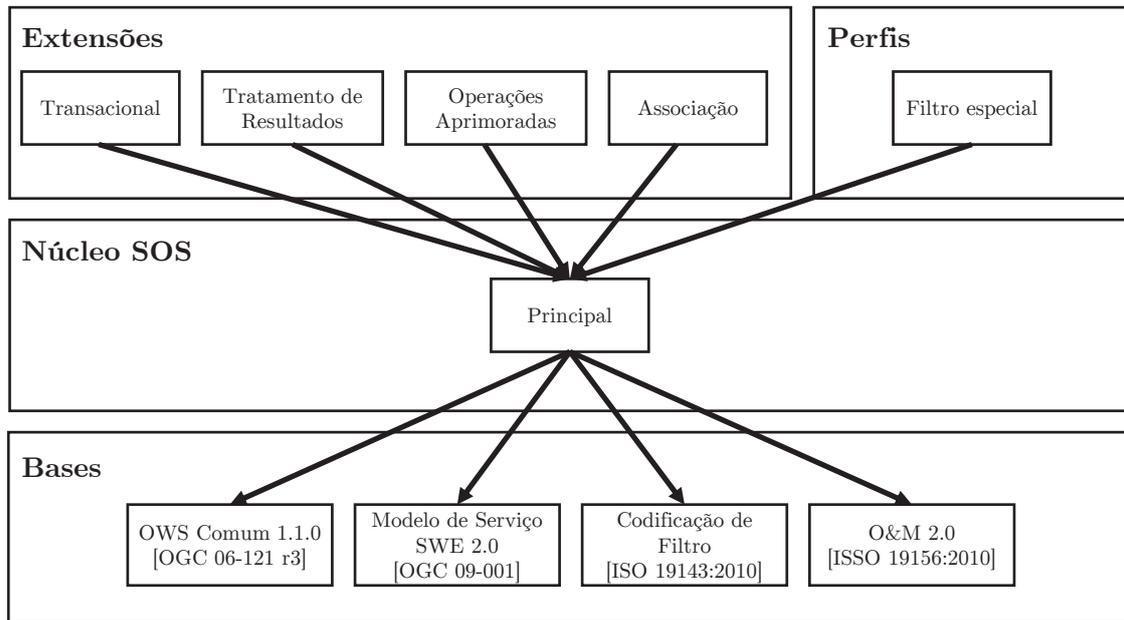


Figura 2.7: Framework do Serviço de Observação de Sensores – SOS 2.0
Adaptado de OGC [OGC 2012b].

- Classe principal:
 - GetCapabilities: retorna uma informação detalhada e metadados sobre uma instância do serviço como sistemas de sensores, propriedades observáveis e procedimentos;
 - DescribeSensor: entrega metadados sobre sensores e sistemas de sensores, com resposta codificada em SensorML;
 - GetObservation: permite acesso aos dados coletados com filtro espacial, temporal e temático, com resposta codificada em O&M;
- Extensão de Operações Aprimoradas:
 - GetObservationByID: permite acesso a dados coletados específicos ao parametrizar a identificação da observação, com resposta codificada em O&M;
 - GetFeatureOfInterest: retorna a representação de uma área específica coberta por observações SOS;
- Extensão Transacional:
 - InsertSensor: registra um novo sensor;
 - DeleteSensor: deleta um sensor cadastrado e todas suas observações;
 - InsertObservation: insere uma nova observação para sensores registrados;

- Extensão de Tratamento de Resultados:
 - InsertResultTemplate: insere um modelo de resultado contendo metadados de observações e estrutura de resultados descrevendo o que é esperado de um conjunto ou de uma única observação;
 - InsertResult: insere resultados de observação usando um modelo de resultado específico;
 - GetResultTemplate: retorna estrutura e codificação utilizadas na última requisição à operação GetResult;
 - GetResult: retorna o próprio resultado de observação;
- Associação: descreve formatos de documento que permite clientes e servidores SOS 2.0 se comunicarem mutuamente. Atualmente somente as codificações KVP e SOAP são relatadas na especificação.

SWE e seus protocolos, principalmente SOS, são a concretização dos fundamentos apresentados em IoT trazendo à realidade seus conceitos e aplicando-os em interesses geoespaciais. A partir da implementação do SOS é possível alcançar sistemas de sensores com georreferenciamento a partir de uma base sólida amplamente difundida e aberta.

2.4.1 52°North SOS

A OGC mantém um selo de certificação garantindo que softwares que digam seguir seus padrões estão realmente em conformidade com as especificações. Uma lista de softwares validados e certificados está disponível em seu site onde, na categoria SOS, constam as implementações 52°North, MapServer e OOSTethys, as duas últimas inativas [OGC 2016a].

52°North é um grupo de pesquisa e desenvolvimento formado por parcerias com pesquisadores, indústria e administração. Seu foco é o fomento de inovação em Geoinformática. Juntos eles desenvolvem novos conceitos e tecnologias avaliando tópicos de grande interesse como Internet das Coisas a fim de encontrar métodos práticos para melhorar os processos existentes.

A solução SOS desenvolvida por 52°North implementa não apenas os dois tipos de associação descritas nas especificações, mas seis técnicas de codificação distintas. Também inclui três operações e duas extensões não especificadas no SOS 2.0. São elas:

- Extensão Transacional (incluída uma operação nesta extensão já existente):
 - UpdateSensorDescription: permite atualização da descrição de sensores registrados;

- Disponibilidade de Dados:
 - GetDataAvailability: retorna se há disponibilidade de dados para certas configurações;
- Deleção de Observação:
 - DeleteObservation: remove uma única observação ao passar seu identificador.

O estado atual da implementação de operações e associações na última versão lançada para cumprir com as requisições destas operações são apresentadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Estado de implementação atual do 52°North SOS na versão 4.3.8

Extensão	Operação	Associações					
		KVP	SOAP	POX	REST	JSON	EXI
Classe Principal	GetCapabilities	sim	sim	sim	sim	sim	sim
	DescribeSensor	sim	sim	sim	sim	sim	sim
	GetObservation	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Operações Aprimoradas	GetObservationByID	não	sim	sim	sim	sim	sim
	GetFeatureOfInterest	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Transacional	InsertSensor	não	sim	sim	sim	sim	sim
	DeleteSensor	sim	sim	sim	sim	sim	sim
	InsertObservation	não	sim	sim	sim	sim	sim
	UpdateSensorDescription ^a	não	sim	sim	sim	sim	sim
Disponibilidade de dados ^a	GetDataAvailability	sim	sim	sim	não	sim	sim
Deleção de Observações ^a	DeleteObservation	sim	sim	sim	sim	sim	sim

^a As extensões “Disponibilidade de Dados” e “Deleção de Observação” e a operação “UpdateSensorDescription” não estão especificadas no SOS 2.0.

52°North SOS é uma solução escrita em Java com arquitetura dividida em quatro camadas lógicas (Figura 2.8).

Camada de dados abstrai informações de acesso ao banco de dados e documentos da especificação SOS. Implementar desta forma permite ao usuário utilizar qualquer Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) suportado pela aplicação. Por padrão este serviço funciona com o banco de dados PostgreSQL com extensão PostGIS oferecendo suporte a georreferenciamento. Contudo é possível escolher entre outros SGBD que sejam mais convenientes ao usuário.

Lógica de negócio provê gerenciamento de requisições, sendo *RequestOperator* o principal componente, o qual recebe solicitações da Camada de Apresentação, valida e encaminha para os controladores apropriados. Para alcançar estes resultados, algumas conversões ocorrem devido a recepção de requisições que estão chegando em um formato especificado pelo protocolo de comunicação. *RequestOperator* precisa interpretar essa codificação para poder tomar decisões.

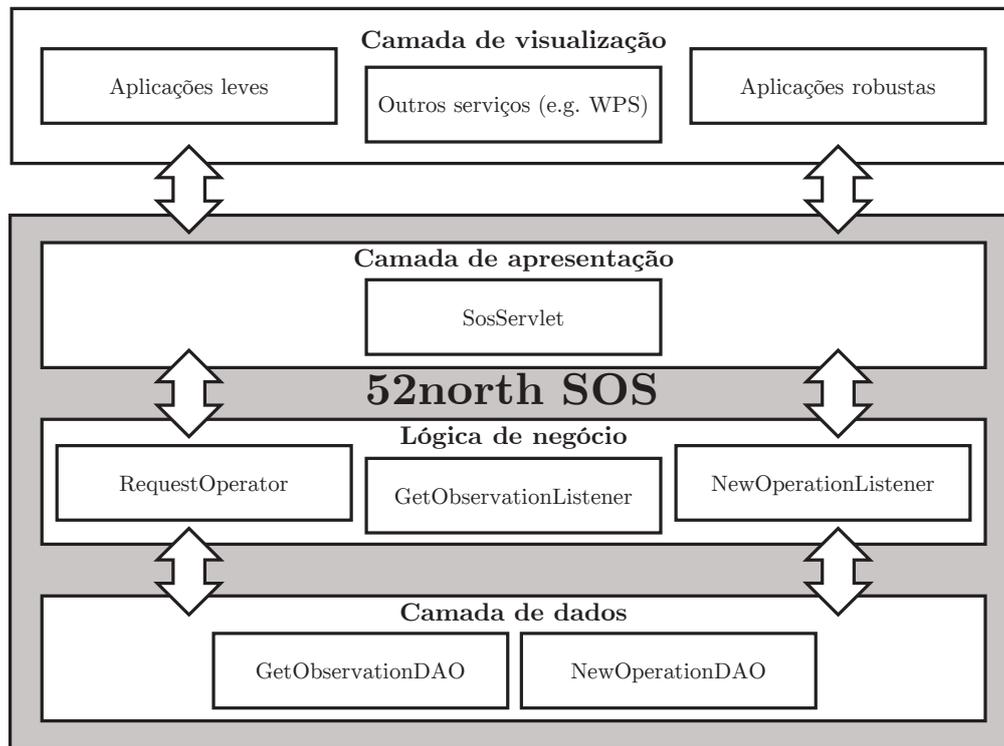


Figura 2.8: Arquitetura 52°North SOS em quatro camadas
Adaptado de 52°North [52North 2016].

O mesmo acontece após o processamento das requisições, onde a resposta é codificada novamente no mesmo formato em que chegou a requisição e enviada de volta ao cliente. Os formatos de codificação disponíveis no serviço são [OGC 2012b]:

- Key Value Pair (KVP): requisições via HTTP GET;
- Simple Object Access Protocol (SOAP): requisições via HTTP POST;
- Plain old XML (POX): requisições via HTTP POST codificadas em XML;
- Representational State Transfer (REST): requisições via HTTP, com cabeçalho mais simples apenas para manipulação de recursos, codificadas em XML;
- JavaScript Object Notation (JSON): requisições via HTTP POST codificadas em JSON;
- Efficient XML Interchange (EXI): requisições via HTTP POST codificadas em EXI ou POX.

Camada de apresentação implementa um Servlet simples que apenas gerencia requisições e respostas HTTP e reconhece cada tipo de codificação.

Camada de visualização não faz parte desta implementação do SOS, mas sua ocorrência é planejada e representa aplicações e sistemas externos que farão requisições

ao serviço. Nesta camada serão desenvolvidas as interfaces de usuário. 52°North SOS contém um *thin client* embarcado que será abordado mais a seguir.

A configuração do serviço é feita em uma página web que permite ao administrador testar os recursos, gerenciar quais operações estarão disponíveis, carregar dados de teste (fictícios), verificar procedimentos de observação, propriedades observáveis, internacionalização e mais.

Criamos um documento que explica detalhadamente o procedimento de instalação deste serviço e que pode ser encontrado no Apêndice A.

2.4.2 52°North SensorWeb JS Client

Embarcado às versões *bundle* de 52°North SOS há um cliente implementado em HTML5 para visualização de dados coletados por sensores, enviados para instâncias de SOS. Para se comunicar com o serviço, esta ferramenta utiliza codificação REST. Na Figura 2.9 mostramos a interface do sistema, onde os pontos marcados são representações fictícias de estações provenientes do conjunto de dados de teste embarcado no SOS.

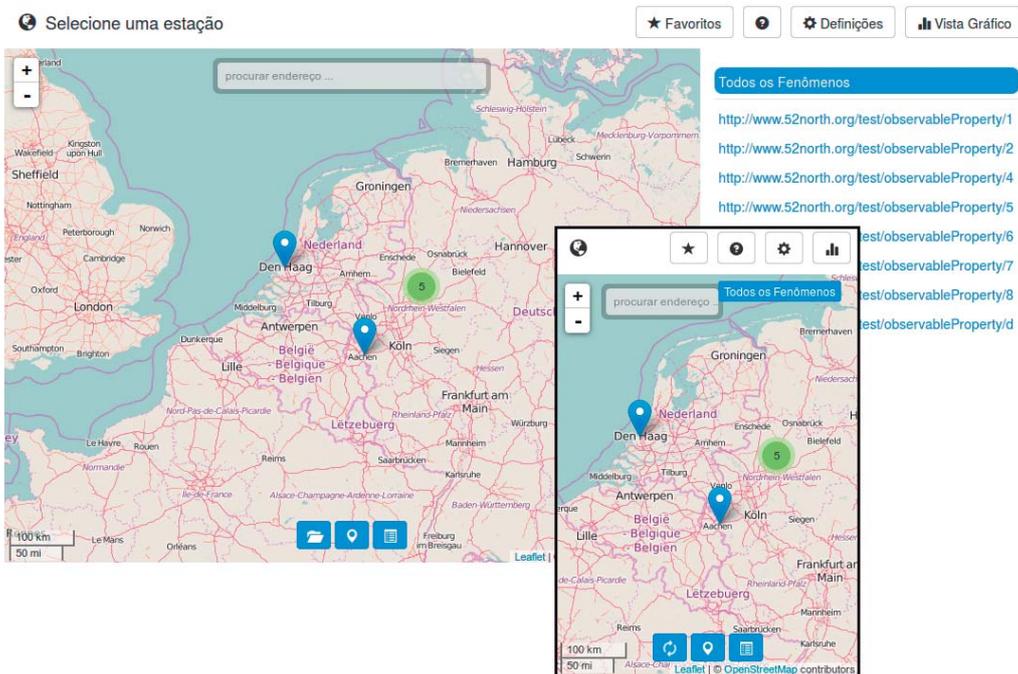


Figura 2.9: 52°North SensorWeb JS Client – aplicativo de visualização embarcado ao 52°North SOS com capacidades responsivas

Sensores medindo um determinado fenômeno de interesse podem ser selecionados em um mapa interativo provido pela OpenStreetMap, carregando e exibindo aos usuários dados série-temporais através de gráficos e tabelas. Mais de uma série-temporal

por ser carregada simultaneamente para realizar investigações mais profundas. Além disso, suporta múltiplas instâncias de SOS, permitindo análises entre diferentes bases de dados.

A aplicação foi estilizada para ser responsiva, adaptando-se à tela de qualquer dispositivo como smartphones, tablets e laptops. Métricas de internacionalização também foram implementadas, sendo o sistema capaz de detectar o idioma utilizado pelo usuário, aplicando uma tradução adequada automaticamente em até 23 línguas diferentes.

Capítulo 3

Meteorologia urbana

A população urbana continua se expandindo com a migração cada vez maior de pessoas dos campos para as cidades. Por este motivo a maior parte da concentração e atividades humanas estão direcionadas ao ambiente urbano, o que leva ao crescimento do interesse nessa área de estudo [Fonseca et al. 2015]. Muitos avanços foram alcançados na definição das mecânicas do clima nas cidades e como cada parte interage para construir a atmosfera urbana. O desenvolvimento de conceitos como escalas, heterogeneidade espacial, rugosidade e ilhas de calor foram essenciais para a construção de uma base sólida no campo da meteorologia nas camadas mais baixas da atmosfera. Arnfield e Kanda e revisam o progresso feito em meteorologia urbana nas últimas décadas [Arnfield 2003, Kanda 2007].

Nesses trabalhos, percebemos que os métodos mais utilizados atualmente para compreensão do clima local são simulação (modelo numérico) e sensoriamento remoto. Entretanto ainda há muito a ser percorrido para se entender com clareza não apenas o clima em pequena escala, mas a relação com sua mesoescala. A maior parte da dificuldade em utilizar esses modelos na meteorologia urbana é devido a diversidade e heterogeneidade das cidades o que os tornam extremamente específicos para o local onde foram realizadas as medições para validá-los. Por isso ao suprir dados meteorológicos em escala local gera-se avanços em meteorologia urbana.

Apesar da demanda crescente e da importância para a sobrevivência, os serviços de meteorologia, que deveriam ser os responsáveis neste caso, não estão se mostrando comprometidos em tomar partido, como é afirmado por Oke. O autor diz que isto acontece porque as cidades não estão em conformidade com as diretrizes de seleção de local e exposição de instrumentos, dadas pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO) em 1996, “devido a obstrução do fluxo de ar e troca de radiação pelos prédios e árvores, superfícies de cobertura não naturais e gasto de calor e vapor de água de atividades humanas” [Oke 2006].

Isto acabou motivando Oke a publicar um guia com diretrizes que habilitam a seleção dos sítios, a instalação de estações meteorológicas e a interpretação dos dados

coletados. As regras rígidas da diretriz padrão foram substituídas pela aplicação dos conceitos e princípios das áreas urbanas de forma inteligente, flexível e sensível à realidade de cada ambiente específico. O próprio autor atenta para a aparente incoerência com a noção de padronização promovida pelos métodos de observação da WMO, pois algumas vezes será necessário aceitar a exposição de instrumentos em superfícies fora do padrão, numa altura fora do padrão, e tantas outras situações que não são comuns durante a coleta de dados climáticos tradicionalmente. Todo o resto permanece da forma que descrito no guia da WMO de 1996 como quanto à frequência de observações, calibração, controle de qualidade e outros [WMO 1996].

3.1 Escalas horizontais e verticais

Há três tipos de escalas que interessam nas áreas urbanas: mesoescala, escala local e microescala (Figura 3.1).

Mesoescala compreende uma cidade inteira de dezenas de quilômetros com clima representado por diversas estações.

Escala local é o tipo padrão de dimensão de estudo na meteorologia. Leva em consideração os efeitos climáticos dos recursos de toda a superfície como a topografia excluindo qualquer sinal advindo da microescala. Em áreas urbanas significa ter estações observando o clima da cada uma das vizinhanças com tipo similar de desenvolvimento urbano (cobertura da superfície, tamanho, espaçamento entre construções, atividade humana) com extensão de até vários quilômetros. O clima sendo observado será a média dos efeitos microclimáticos da vizinhança do sítio em que a estação está instalada [Oke 2006].

Microescala corresponde ao microclima de objetos ou superfícies individuais e de sua vizinhança imediata. Todo corpo absorve e emite radiação, por isto mesmo objetos próximos podem influenciar na temperatura uns do outros mesmo separados por milímetros de distância. No contexto das cidades, a escala de microclima urbano observa um único prédio, árvore, parque, rua, jardim, quarteirão ou outros elementos com extensão de até poucas centenas de metros.

Há uma diferença fundamental entre o clima em áreas urbanas e aquelas mais abertas como aeroportuárias e rurais: a troca de energia, calor e umidade. Em áreas abertas, a troca ocorre próximo a superfícies planas, enquanto que nas cidades acontece numa camada significativamente mais densa chamada *camada de cobertura urbana* (UCL).

A altura Z_H da UCL é calculada como sendo a altura média dos principais elementos irregulares, isto é, de construções e flora. Os efeitos microclimáticos de objetos individuais persistem por uma curta distância de sua fonte dependendo da força do efeito, velocidade do vento e estabilidade. Em escalas horizontais, o efeito pode continuar influenciando a vizinhança por até algumas centenas de metros, enquanto que verticalmente a distância de impacto do efeito é compreendida pela *subcamada*

de rugosidade (RSL) que se inicia da superfície até a altura de dispersão Z_r onde termina a ação microclimática.

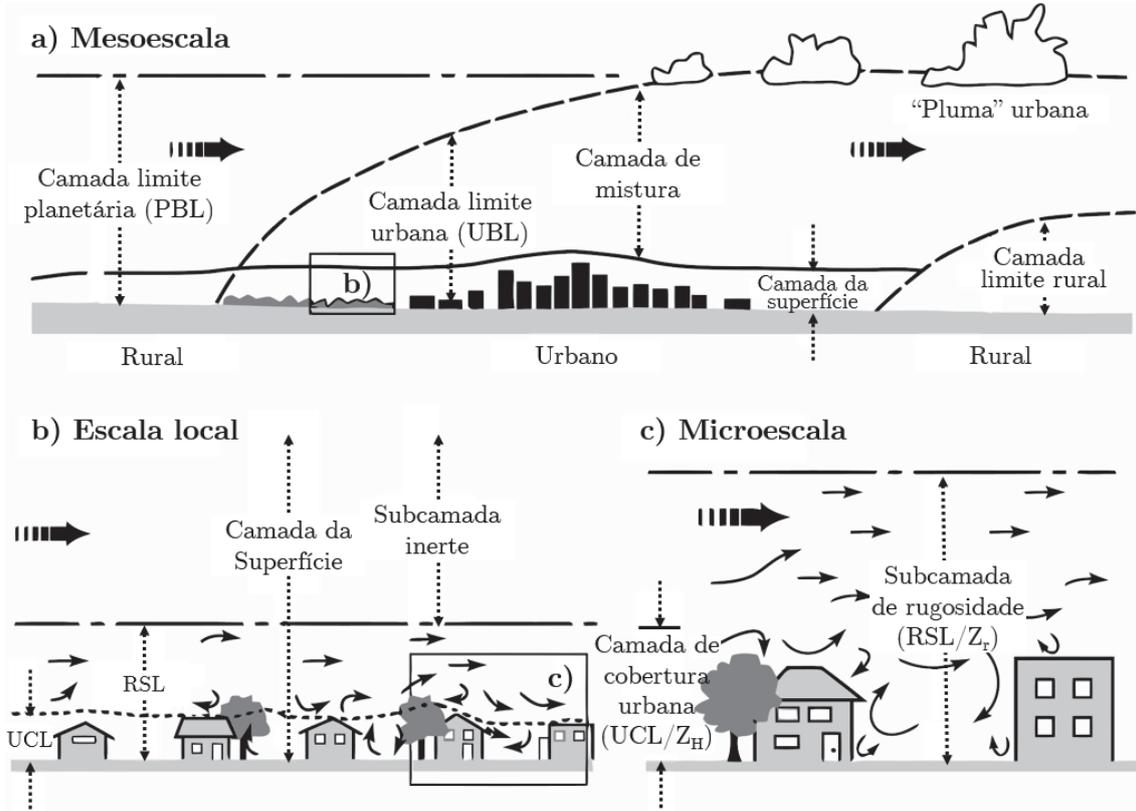


Figura 3.1: Escalas climáticas e camadas verticais encontradas em áreas urbanas Adaptado de Oke [Oke 2006].

Em sítios com grande quantidade de construções aglomeradas e homogêneas, a altura Z_r da RSL chega a $1,5Z_H$, enquanto que áreas com maior espaçamento entre construções apresenta Z_r em torno de $4Z_H$. Se os instrumentos de coleta forem montados dentro da subcamada de rugosidade, os valores coletados poderão registrar dados influenciados pelo microclima, entretanto, caso seja acima, na *subcamada inerte*, mensurarão sinais que representam a média espacial da escala local.

3.2 Métodos de classificação de sítios urbanos

Os primeiros estudos realizados em meteorologia urbana classificavam sítios em duas categorias apenas – urbano e rural – entregando aos pesquisadores um formato simples de trabalho onde parâmetros climáticos eram comparados, principalmente no estudo de ilhas de calor. Entretanto esta classificação, apesar de sua popularidade no meio acadêmico, “falha ao dar metadados quantitativos de exposição de sítios ou

superfícies” sendo os termos por si próprios insuficientes para descrever uma área e sua circunvizinhança [Stewart e Oke 2012].

Na literatura encontram-se alguns sistemas de classificação urbana baseada no clima:

- Chandler: provavelmente foi o primeiro a criar um sistema de classificação para investigar ilhas de calor de forma mais adequada. Dividiu a Grande Londres¹ em regiões locais diferidas por formatos de construções, fisiografia e clima [Chandler 1965];
- Auer: baseando-se nas características da vegetação e construções da cidade de St. Louis, o autor propôs uma classificação de doze formas de uso da superfície que, quando encontradas, modificavam significativamente o clima dos arredores [Auer 1978];
- Ellefsen: para estudar chuvas ácidas criou um sistema de dezessete Zonas de Terreno Urbano (ou Urban Terrain Zones – UTZ) a partir da observação de dez cidades dos Estados Unidos quanto ao material utilizado nas construções, geometria e disposição de ruas, sendo este o primeiro sistema a levar em consideração a estrutura da cidade e os materiais envolvidos nas construções [Ellefsen 1991];
- Oke: combinou as propostas de Auer e Ellefsen para projetar um sistema de classificação genérico de Zonas de Clima Urbano (ou Urban Climate Zones – UCZ) com objetivo de melhorar a exposição de instrumentos meteorológicos em áreas urbanas. As UCZ se dividem em sete tipos de regiões que contemplam desde sítios semi-rurais até aqueles intensamente desenvolvidos, levando em consideração as dimensões das ruas e construções, permeabilidade da superfície, materiais das construções, atividade humana e fatores que potencializam a modificação do clima natural na superfície [Oke 2004];
- Loridan e Grimmond: definiram um sistema de classificação baseado em valores limite de troca de energia em que estão envolvidas superfícies construídas e vegetativas, chamando-o de Zonas Urbanas para Caracterização de Particionamentos de Energia (ou Urban Zones for characterizing Energy partitioning – UZE). A ideia do sistema é aprimorar a modelagem atmosférica ao distinguir áreas urbanas através do seu particionamento de radiação incidente [Loridan e Grimmond 2012].

Stewart e Oke, poucos meses após a publicação do sistema de Loridan e Grimmond, divulgaram um documento contendo uma análise quanto aos sistemas de classificação existentes até aquele momento reconhecendo as limitações envolvidas na construção de cada um para o estudo do clima urbano [Stewart e Oke 2012]. No artigo demonstram a falta do envolvimento de propriedades climáticas da superfície, exclusão de paisagens rurais, limitação do uso a cidades bem desenvolvidas, e meios de comparação entre sítios impraticável. A partir daí, neste mesmo trabalho

¹Compreende as cidades de Londres, Westminster e mais trinta e dois distritos do Reino Unido.

é proposto um novo sistema de Zonas de Clima Local (ou Local Climate Zones – LCZ) classificando regiões urbanas pelas estruturas construídas (Tabela 3.1), sua superfície (Tabela 3.2) e variações causadas por padrões de clima sinóptico², práticas agrícolas e/ou ciclos sazonais³ (Tabela 3.3).

Os autores elaboraram a classificação por divisões lógicas tendo como universo de possibilidades as paisagens de escala local distinguindo pela (a) estrutura da superfície quanto à altura e espaçamento entre construções e árvores e (b) pela cobertura da superfície, permeável ou impermeável.

A estrutura da superfície afeta o clima local ao modificar o fluxo de ar, transporte de calor atmosférico, e balanço de radiação de ondas curtas e longas, enquanto que a *cobertura da superfície* modifica a albedo, disponibilidade de umidade, e potencial de aquecimento/resfriamento do solo. [Stewart e Oke 2012, p. 1884, tradução e grifo nosso].

Uma *Zona de Clima Local* (LCZ) é definida como uma região com características de cobertura de superfície, material de construções, atividade humana e estrutura homogêneas, com alcance de centenas de metros a vários quilômetros em escala horizontal. Os aspectos climáticos elegidos em cada LCZ são pertinentes durante todo o ano e associadas a ambientes uniformes como parques, centros comerciais, biomas naturais e campos agrícolas.

O sistema de classificação LCZ consiste em dezessete tipos de zonas onde as classes de 1 a 10 correspondem aos tipos de construção, e de A a G aos tipos de cobertura. Cada uma das classes é ilustrada permitindo aos investigadores de clima urbano classificar sítios consistente e eficientemente.

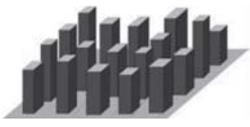
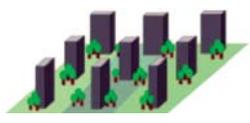
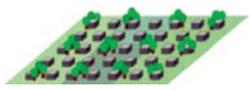
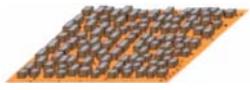
No Apêndice B adicionamos algumas tabelas que demonstram dados quantitativos de propriedades físicas que caracterizam as classes LCZ, selecionados da literatura sobre clima urbano resultantes de observações e modelos numéricos, a fim de prover mais informações que ajudem no processo de classificação dos sítios urbanos.

Por ser um sistema genérico, nem todas as peculiaridades de todos os sítios urbanos são demonstradas pelas classes padrão LCZ, apesar de apresentar formatos presentes na maioria das cidades e sítios. Devido ao clima ser espacialmente contínuo, há transferências de energia entre zonas vizinhas com diferentes estruturas e cobertura da superfície e atividade humana ajustando gradualmente novos conjuntos de condições internas que Stewart e Oke chamam de *transições térmicas*. Portanto, um raio recomendado para observação de um sítio é de 200 a 500 metros, dependendo da largura de rugosidade, geometria das construções e condições de estabilidade atmosférica, havendo neste intervalo garantia de que os limites estabelecidos estão completamente contidos dentro de uma zona sem sobrepor a qualquer LCZ vizinha.

²Clima predominante em uma escala de longitude horizontal na ordem de muitas centenas de quilômetros.

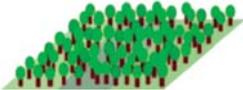
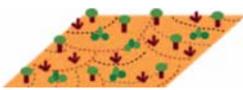
³Fenômenos que ocorrem numa mesma época do ano.

Tabela 3.1: Classificação de Zonas de Clima Local (LCZ) por tipos de construção

Tipos de construção	Definição
1. Compacto de alta elevação 	Mistura densa de prédios altos até dezenas de lojas. Poucas ou nenhuma árvore. Superfície pavimentada na maior parte. Construído com concreto, aço, pedra e vidro.
2. Compacto de média elevação 	Mistura densa de construções de altura média (3 a 9 lojas). Poucas ou nenhuma árvore. Superfície pavimentada na maior parte. Construído com pedra, tijolo, azulejo e concreto.
3. Compacto de baixa elevação 	Mistura densa de construções de altura baixa (1 a 3 lojas). Poucas ou nenhuma árvore. Superfície pavimentada na maior parte. Construído com pedra, tijolo, azulejo e concreto.
4. Aberto de alta elevação 	Arranjo aberto de prédios altos até dezenas de lojas. Abundância de superfície permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Construído com concreto, aço, pedra e vidro.
5. Aberto de média elevação 	Arranjo aberto de construções de altura média (3 a 9 lojas). Abundância de superfície permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Construído com concreto, aço, pedra e vidro.
6. Aberto de baixa elevação 	Arranjo aberto de construções de altura baixa (1 a 3 lojas). Abundância de superfície permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Construído com madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto.
7. Peso-leve de baixa elevação 	Mistura densa de lojas independentes. Poucas ou nenhuma árvore. Superfície em chão batido na maior parte. Construído com materiais de peso leve (e.g. madeira, sapê, metal corrugado).
8. Largo de baixa elevação 	Arranjo aberto de construções largas e de baixa estatura. Poucas ou nenhuma árvore. Superfície pavimentada na maior parte. Construído com aço, concreto, metal e pedra.
9. Escassamente construído 	Arranjo escasso de construções baixas ou médias num ambiente natural. Abundância de superfície permeável (plantas baixas, árvores dispersas).
10. Indústria pesada 	Estruturas industriais de baixa a média elevação (torres, tanques, empilhamentos). Poucas ou nenhuma árvore. Superfície pavimentada ou de chão batido na maior parte. Construído com metal e concreto.

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012].

Tabela 3.2: Classificação de Zonas de Clima Local (LCZ) por tipos de superfície

Tipos de superfície	Definição
<p>A. Árvores aglomeradas</p> 	<p>Paisagem densamente arborizada com árvores decíduas e/ou sempre verdes. Superfície permeável na maior parte (plantas baixas). Função da zona é floresta natural, cultura de árvores ou parque urbano.</p>
<p>B. Árvores dispersas</p> 	<p>Paisagem levemente arborizada com árvores decíduas e/ou sempre verdes. Superfície permeável na maior parte (plantas baixas). Função da zona é floresta natural, cultura de árvores ou parque urbano.</p>
<p>C. Arbusto, relva</p> 	<p>Arranjo aberto de arbustos, relva e pequenas árvores lenhosas. Superfície permeável na maior parte (chão batido ou areia). Função da zona é matagal ou agricultura.</p>
<p>D. Plantas baixas</p> 	<p>Paisagem inexpressiva com cultura/plantas herbáceas ou grama. Poucas ou nenhuma árvore. Função da zona é gramado natural, agricultura ou parque urbano.</p>
<p>E. Rocha descoberta ou pavimentada</p> 	<p>Paisagem inexpressiva com superfície rochosa ou pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore. Função da zona é deserto natural (rocha) ou transporte urbano.</p>
<p>F. Chão batido ou areia</p> 	<p>Paisagem inexpressiva com superfície arenosa ou chão batido. Poucas ou nenhuma árvore. Função da zona é deserto natural ou agricultura.</p>
<p>G. Água</p> 	<p>Formações aquáticas abertas e largas como mares e lagos, ou pequenas como rios, reservatórios e lagoas.</p>

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012].

O processo de classificação LCZ, sintetizado na Figura 3.2, consiste na obtenção de alguns metadados e caracterização da superfície do sítio sendo estudado dividido em três passos como explicado a seguir.

Primeiramente é necessário quantificar propriedades da superfície do sítio. Para isto deve ser observado *in loco* as coordenadas geográficas, temperatura e umidade do ar, geometria das construções, tipo de superfície (se permeável ou impermeável e o material de que é coberta), umidade da superfície, relevo, fluxo de veículos e densidade populacional. Adicionalmente, outras fontes podem ser utilizadas como imagens aéreas, mapas municipais, imagens de satélite e outros.

Tabela 3.3: Propriedades variáveis de superfícies em Zonas de Clima Local (LCZ)

Propriedade variável da superfície	Definição
<i>b.</i> árvores nuas	Árvores decíduas sem folhas (e.g. inverno). Fator de visão do céu aumentado. Albedo reduzida.
<i>s.</i> cobertura de neve	Cobertura de neve maior que 10 cm de profundidade. Baixa admitância térmica ^a . Albedo alta.
<i>d.</i> solo árido	Solo ressecado. Baixa admitância térmica. Alta razão de Bowen ^b . Albedo aumentada.
<i>w.</i> solo úmido	Solo alagado. Alta admitância térmica. Baixa razão de Bowen. Albedo reduzida.

^a Medida da habilidade de transferência de calor entre a superfície de um elemento e o ar por unidade de tempo e variação de temperatura, expresso em W/m^2K .

^b Mensura o calor perdido ou adquirido, ou fluxo de calor latente.

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012].

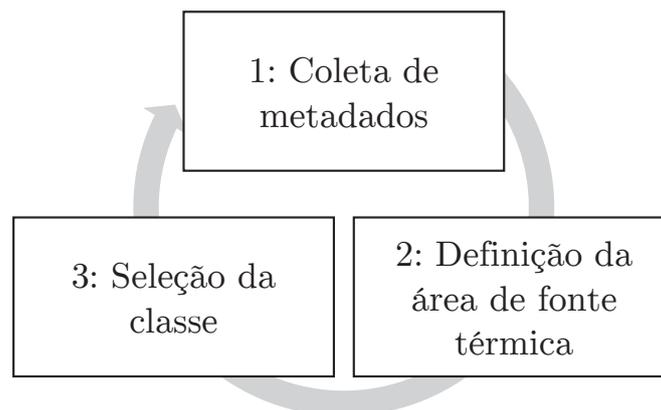


Figura 3.2: Processo de classificação de Zonas de Clima Local pelo método de Stewart e Oke

Caso o sítio não possua características classificativas constantes, mantendo uniformidade dentro do intervalo selecionado, recomenda-se que o mesmo não seja classificado e um sítio mais homogêneo seja observado.

A área de fonte térmica é o círculo de influência, isto é, a área total da superfície que um sensor de temperatura pode mensurar de forma representativa. Esta área pode se estender de metros a quilômetros dependendo da altura em que o instrumento for instalado, a geometria das construções ao redor, direção do vento e condições de estabilidade atmosférica.

O tamanho e orientação da área de origem mudam com o tempo, apresentando pontualmente uma forma elíptica, porém toda a oscilação ocorrida com o tempo acaba resumindo o comportamento em uma forma circular. Na literatura o termo designando esta área também pode ser encontrado como pegada (*footprint*) simbolizando as “marcas” que a turbulência deixa no espaço. A Figura 3.3 ilustra uma área de fonte térmica calculada a partir de um modelo numérico, sendo o ponto em vermelho o local de instalação do sensor.

Suas dimensões podem ser calculadas (a) de forma analítica [Kormann e Meixner 2001]; (b) utilizando um modelo numérico de pegada; ou (c) atribuindo empiricamente o valor baseado em estudos que demonstram a média da dimensão não ser maior que algumas centenas de metros em locais de atmosfera estável, seguindo as recomendações de 200 a 500 metros como explicado anteriormente. Dentre estes métodos, Stewart e Oke determinam que a aplicação de um modelo é o ideal, entretanto é necessário um estudo muito aprofundado do sítio para levantamento de variáveis exigidas pelos modelos.

Existem diversas propostas de modelos disponíveis para estimativa dos fluxos turbulentos em área amplas utilizando os mais diversos métodos de simulação. São alguns deles:

- Modelo do fechamento de turbulência de ordem superior (Higher-order Closure – HOS): gera equações aproximadas para o cálculo de variáveis meteorológicas médias, além de energia e fluxos cinemáticos [Sogachev e Lloyd 2004];
- Simulação de Grandes Escalas (Large Eddy Simulation – LES): simulação numérica tridimensional de turbulência onde uma grade escala de vento é dividida em grades de menor escala as quais têm seus efeitos parametrizados [Steinfeld et al. 2008];
- Modelo Lagrangiano de Dispersão de Partículas (Lagrangian Particle Dispersion – LPD): método estocástico para simular a trajetória de partículas em fluxo turbulento assumindo que a evolução da velocidade da turbulência é Markoviana⁴ [Kljun et al. 2015].

⁴Cadeia de Markov é o processo estocástico em que são definidos estados (escopo de valores que um objeto pode assumir) e seus estados futuros dependem apenas do estado atual tornando os estados anteriores irrelevantes.

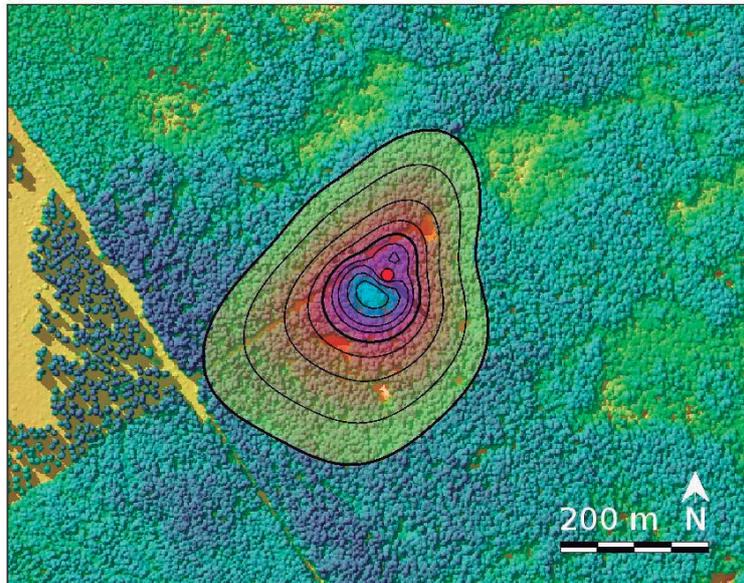


Figura 3.3: Exemplo de área de fonte térmica calculada por Modelo Lagrangiano de Dispersão de Partículas [Kljun et al. 2015]

Na terceira etapa os metadados coletados no primeiro passo são utilizados para encontrar classes LCZ correspondentes com as características mensuradas. Na maior parte das vezes os valores coletados não combinarão perfeitamente com uma classe LCZ. Casos em que os metadados estejam dispersos entre as classes demandarão interpolação de classes ao invés de uma seleção direta.

As primeiras características a serem observadas devem ser as frações de cobertura da superfície do sítio. Se nenhuma correspondência direta puder ser realizada, serão elegidas as principais diferenças entre o sítio sendo observado e as classes equivalentes mais próximas, e então escolhida a classificação que mais se assemelhe ao sítio.

O método de classificação prevê situações em que características de múltiplas classes estão presentes significativamente, possibilitando ao usuário criar novas subclasses, isto é, combinações de distintos tipos de construção, tipos de cobertura e propriedades da superfície como ilustrado na Figura 3.4.

Subclasses possuem a notação LCZ X_{ai} onde X é uma classe padrão que melhor representa o sítio evidenciando que as características desta classe são predominantes na maioria; a (opcional, se aplicável) também é uma classe padrão que tem suas características presentes no sítio, porém em menor quantidade que a principal apesar de ser representativa para o sítio; e i (opcional, se aplicável) é uma propriedade variável da superfície.

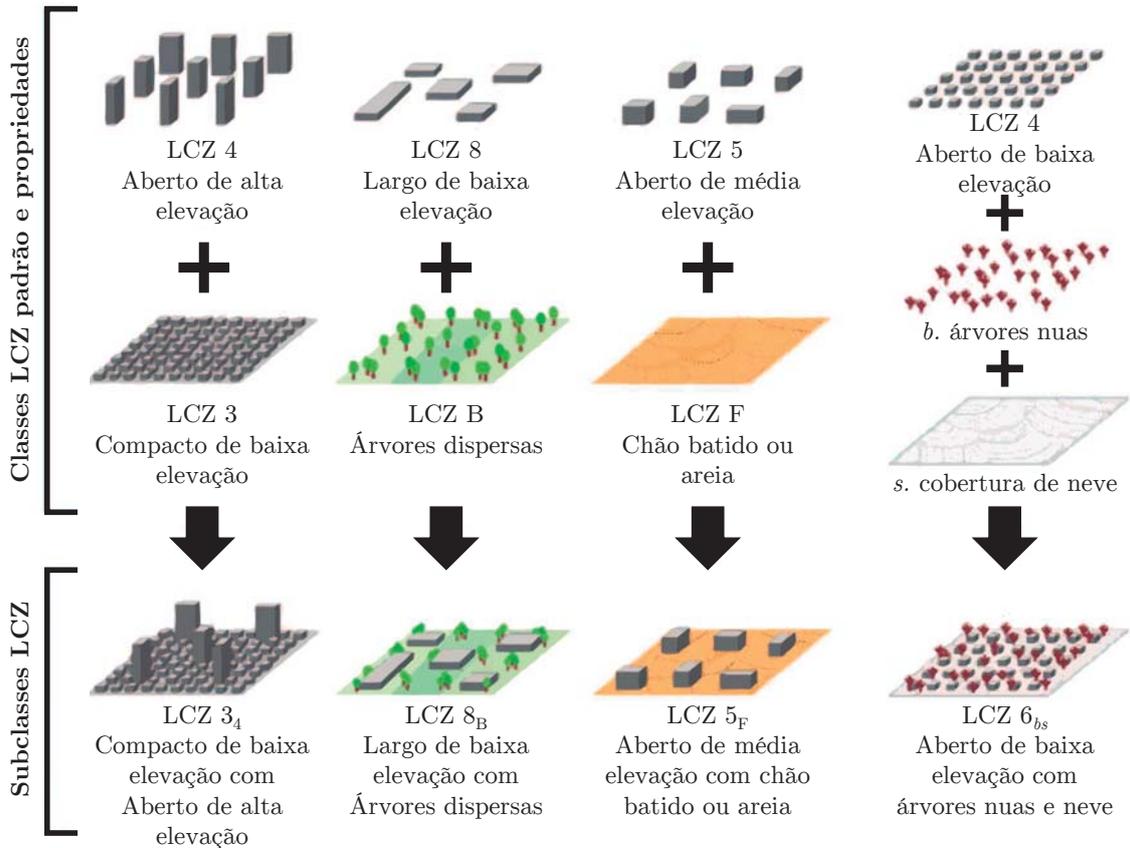


Figura 3.4: Geração de subclasses LCZ por combinações de tipos de construção e superfícies

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012].

Alguns exemplos de subclasses possíveis são: aberto de alta elevação com pavimentação (LCZ 4_E); largo de baixa elevação com árvores dispersas e superfície úmida (LCZ 8_{Bw}); compacto de baixa elevação com plantas baixas (LCZ 3_D); relva com solo árido (LCZ C_d).

O uso das propriedades variáveis da superfície deve ser cuidadoso, principalmente para classificações que representem os sítios por longas temporadas. A maioria dos sítios com grandes porções de cobertura permeável ou árvores tende a mudar significativamente essas propriedades devido padrões climáticos típicos da localização e práticas agrícolas. Nestes casos em que as mudanças são sazonais ou efêmeras, a propriedade variável deve ser desconsiderada. Por outro lado, em estudos de curtos períodos, devem ser preferencialmente anotadas.

3.3 Posicionamento de estações em sítios urbanos

No passado, por tentarem realizar estudos em áreas urbanas utilizando os parâmetros padrão ao montar as estações distantes de árvores, construções, paredes e obstáculos, os resultados obtidos foram os mesmos de um monitoramento de áreas rurais.

Para situar um sistema de sensores efetivamente dentro das cidades de forma a adquirir dados representativos do sítio, é necessário centralizá-lo em um espaço aberto com relação de aspecto de seus arredores semelhante à da localidade sendo estudada. A *relação de aspecto dos arredores* (ver Figura 3.5) é determinada por Z_H/W , isto é, a razão da média dos elementos irregulares Z_H pela média do espaçamento W entre esses elementos.

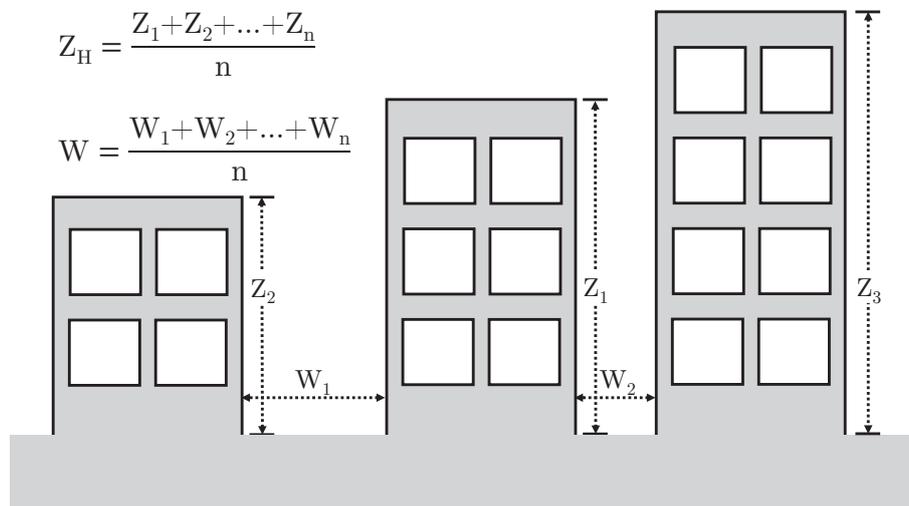


Figura 3.5: Cálculo da relação de aspecto de um sítio ou pequena área

Para aferir esta semelhança, todo o sítio deve ser levado em consideração calculando a relação de aspecto geral e também de pequenas áreas dentro sítio. Os melhores locais de instalação para aquisição de dados serão aqueles que apresentarem relação de aspecto mais próxima do valor encontrado para o sítio.

A Figura 3.6 exemplifica um cenário em que um sítio é subdividido em quatro áreas e, após medidos seus principais elementos irregulares (construções) e espaçamentos entre eles, foi calculada a relação de aspecto em cada área para averiguar qual possui mais similaridade com a estatura média do sítio. No caso apresentado, a Área 3 apresenta valor mais próximo da relação de aspecto geral.

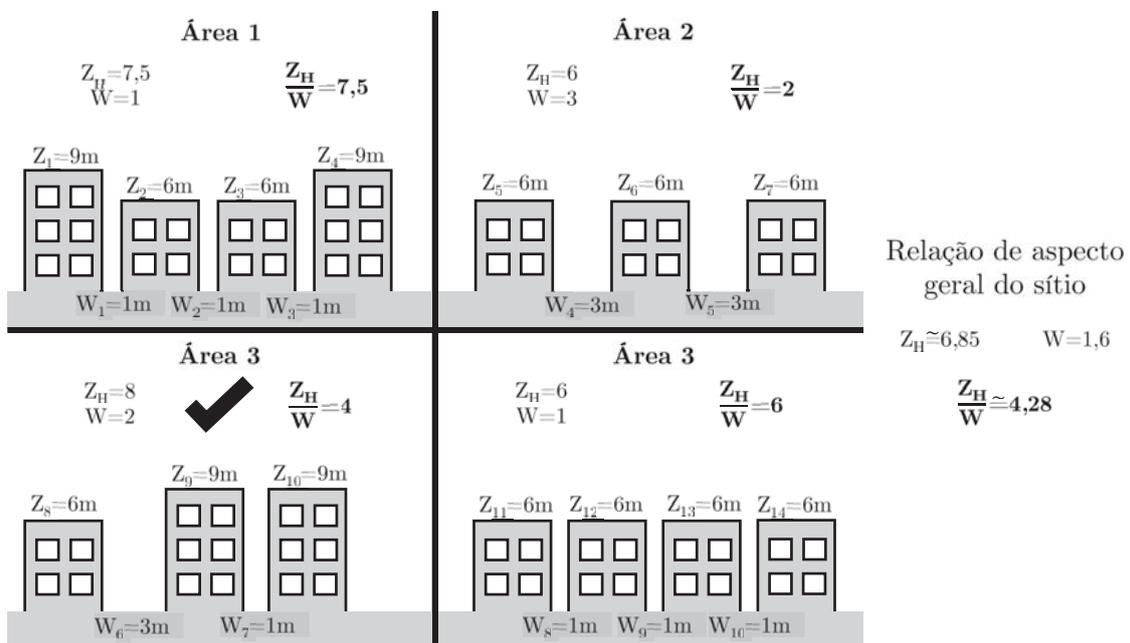


Figura 3.6: Exemplo de seleção do local de instalação de sensores a partir do cálculo de relação de aspecto das áreas de um sítio urbano

Capítulo 4

Classificação das Zonas de Clima Local

Para alcançar o objetivo proposto de classificar o clima local de sítios urbanos de Feira de Santana, aplicamos o método de classificação Zonas de Clima Local de Stewart e Oke em um universo de trinta e cinco sítios expostos no mapa da Figura 4.1.

Devido ao tamanho da cidade, muitos mais pontos poderiam ser elegidos para compor os locais de estudo, porém garantimos que a distribuição entre estes cobrisse diferentes partes da cidade a fim de que cada ponto pudesse representar satisfatoriamente as imediações mesmo que fora dos limites do sítio (500m de raio) e também a diversidade de climas locais que pudessem ser encontrados na área. Desta forma, a distribuição espacial dos pontos escolhidos foi realizada a partir do centro da cidade com distância mínima de 1,5km.

Sendo aqueles os locais que seriam estudados, iniciamos o processo de classificação LCZ com a coleta de metadados, definição da área de fonte térmica e, por fim, a atribuição da classe LCZ mais apropriada a cada sítio.

4.1 Execução dos procedimentos

Para a realização da coleta inicial, foram percorridos aproximadamente 220km no período de um mês, de 08/02/2016 a 07/03/2016. Todo esse intervalo foi necessário para garantir que em todas as vezes que as medições tivessem de ser realizadas, as condições climáticas fossem semelhantes: um dia inteiro de céu aberto e sem nuvens, com observações realizadas no período das 15:00 h às 16:30 h.

Medir todos os locais em um mesmo dia não seria viável por causa da quantidade de pontos selecionados, dado que as condições climáticas teriam variado muito entre o primeiro ponto visitado e último. Por isso escolher uma condição climática similar

para todos os dias de medição e um intervalo de tempo específico foi uma estratégia adotada para reduzir alterações que pudessem ocorrer em um período maior de trabalho.

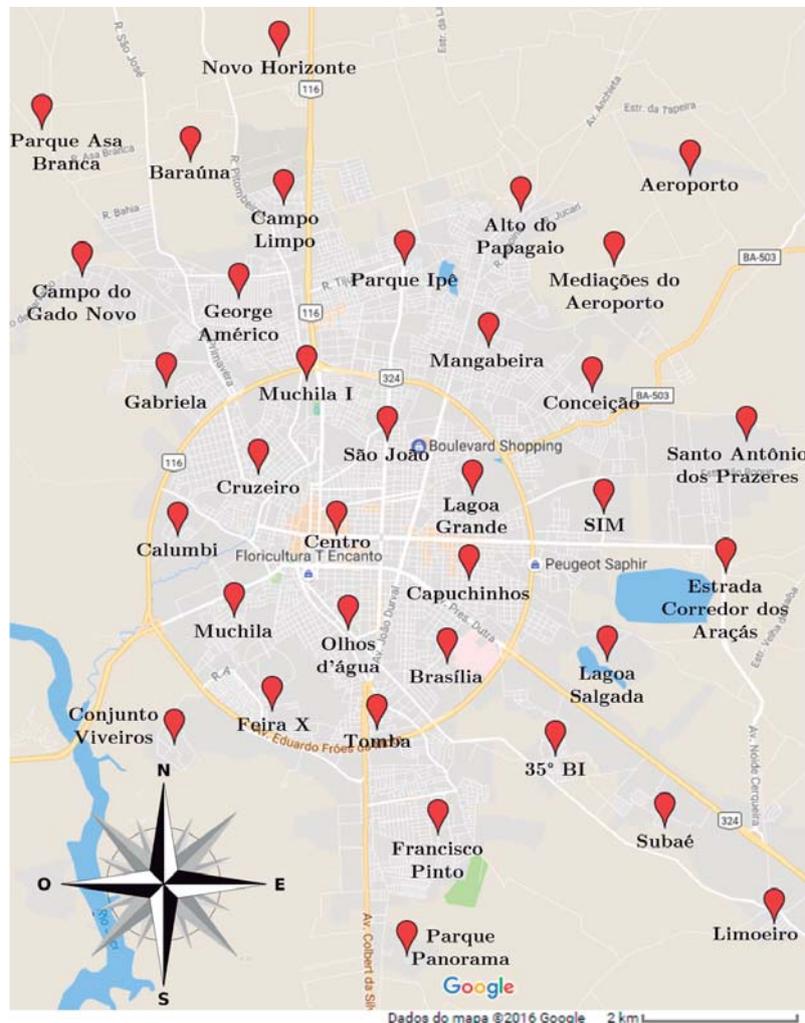


Figura 4.1: Mapa de Feira de Santana com pontos selecionados para o estudo

Para a coleta dos metadados criamos um protótipo utilizando o controlador Arduino Uno e o sensor de temperatura e umidade DHT11 pré-calibrado de fábrica. A montagem foi feita em uma *proto-board* com um botão de acionamento para indicar a intenção de realizar a leitura em um dado momento, como pode ser visualizado na Figura 4.2. O esquemático do protótipo pode ser visto na Figura 4.3 mostrando as ligações necessárias para o funcionamento do protótipo com as configurações padrão.

Para suprimento de energia e linha de comunicação foi utilizado cabo USB ligado diretamente a um computador no qual, ao pressionar o botão no protótipo, eram exibidos os dados coletados pelo sensor, além de ponto de orvalho e índice de calor (ver exemplo de saída gerada no Quadro 4.1).

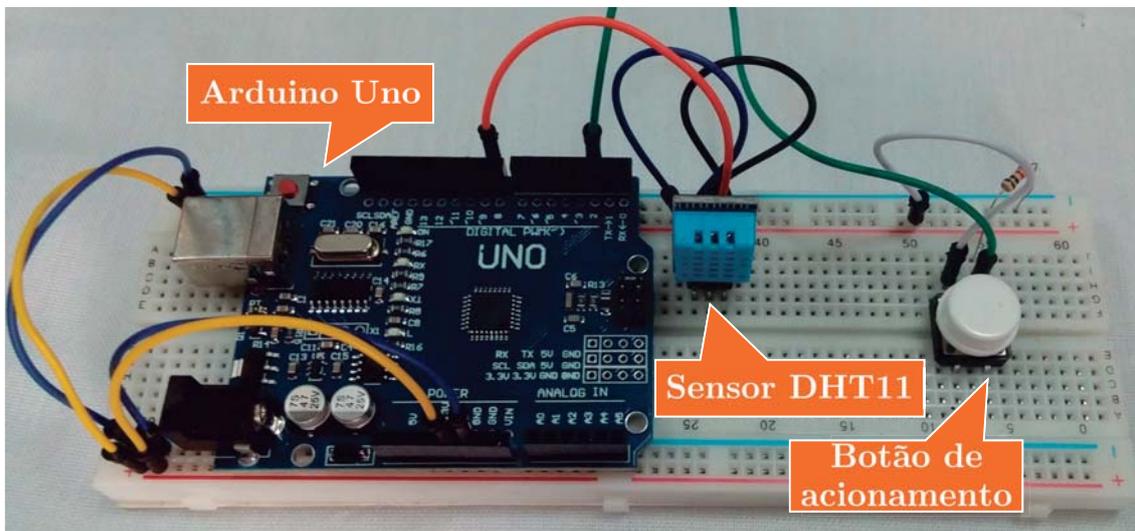


Figura 4.2: Protótipo montado sobre protoboard para aquisição de temperatura, umidade, ponto de orvalho e índice de calor in situ

Quadro 4.1: Exemplo de saída gerada pelo protótipo para classificação dos sítios urbanos

1	Starting sensing...	ok
2	Temperature:	26.00°C
3	Humidity:	67.00%
4	Dew Point:	19.43°C
5	Heat Index:	27.19°C

O software embarcado no microcontrolador do Arduino Uno realiza as ações projetadas no diagrama de atividades da Figura 4.4. Ao carregar o sistema operacional, o controlador inicializa o canal de comunicação com o computador, habilita o sensor e o pino por onde vai chegar o sinal do botão de acionamento. Depois disso fica aguardando o momento em que o botão será pressionado para iniciar o sensoriamento do ambiente. Caso não ocorra qualquer erro na comunicação com o sensor, são realizados os cálculos de ponto de orvalho e índice de calor e tudo será enviado para o computador. O código embarcado neste sistema está disponível publicamente ¹.

Além da coleta dos dados escalares, observamos e avaliamos: arborização; tipos, altura, espaçamento e material das construções; tipos de superfície; largura das ruas; tráfego de veículos; e atividade humana.

¹Disponível em <https://github.com/natanaelsimoes/ArduinoTH/>.

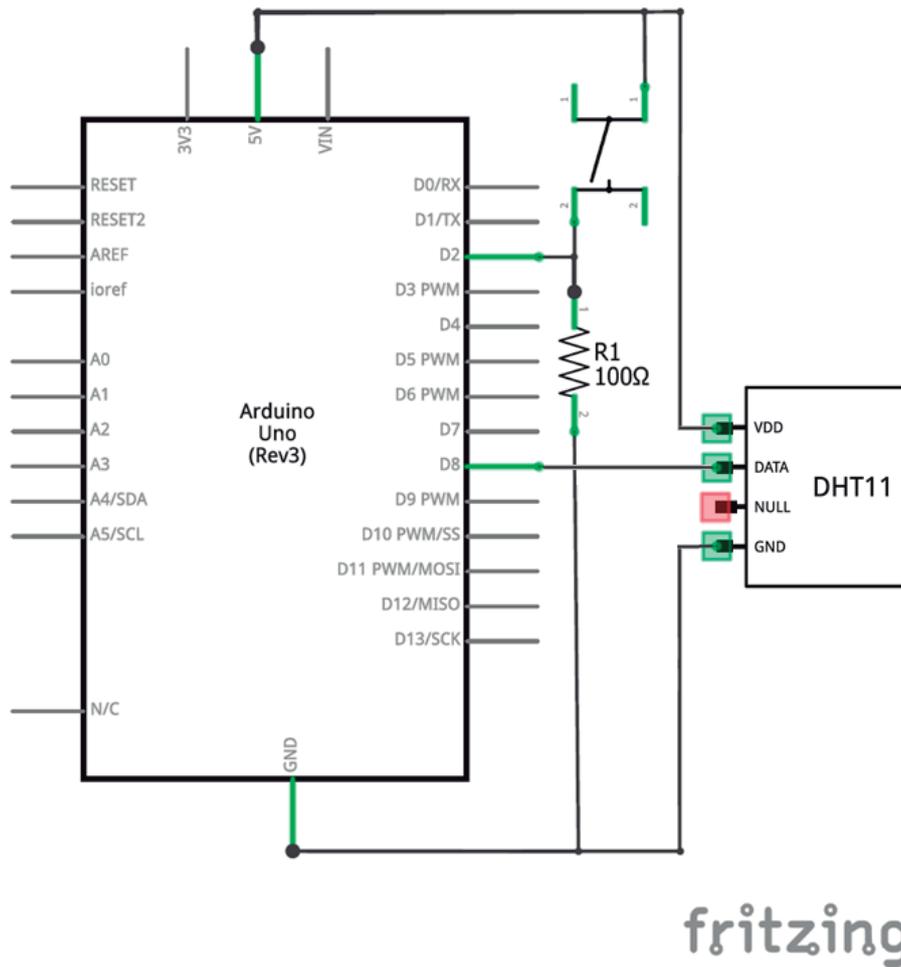


Figura 4.3: Esquemático do protótipo de coleta de dados preliminares

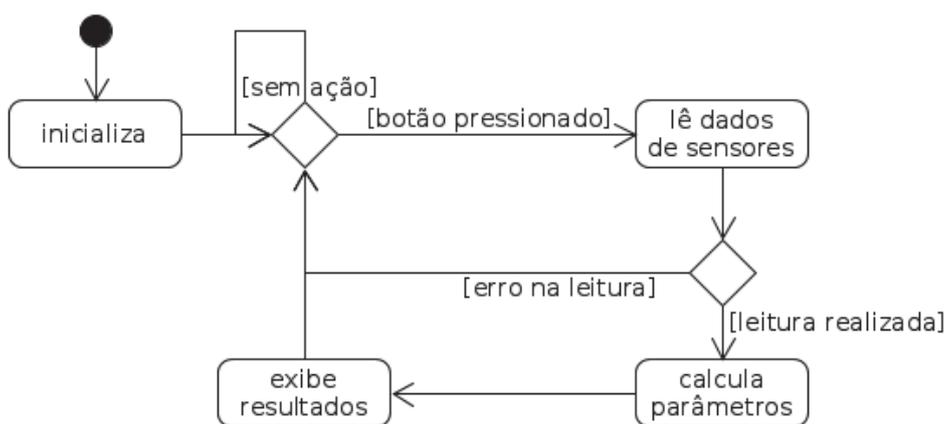


Figura 4.4: Diagrama de atividades do protótipo de coleta de dados preliminares

Na definição da área de fonte térmica, realizada na segunda etapa do método de classificação LCZ, atribuímos o valor padrão de 200 metros. Este valor é recomendado pelos autores para casos como, quando não temos dados referentes à velocidade do vento para calcular a velocidade de fricção² em cada sítio, sendo este um dado obrigatório para aplicação dos modelos numéricos e cálculos de solução analítica da área de fonte térmica.

Para a classificação final dos sítios, utilizamos imagens de satélite do Google para determinar a proporção de área construída a partir do ponto central do sítio com raio de 200 metros. Para isto, dois mapas foram construídos: o primeiro localmente, implementado com Google Maps Javascript API³; e o segundo remotamente, através do serviço de cartografia na nuvem Google Maps⁴ que permite aos usuários uma edição básica de mapas.

A decisão de criar o mapa localmente é devido à liberdade adquirida ao desenvolver independentemente do serviço na nuvem. Assim pudemos incorporar outras funções que não estão disponíveis remotamente, como é o caso de realizar o cálculo da área construída.

No mapa local foram dispostos os pontos centrais de cada sítio e desenhada a partir deste uma circunferência com o raio estipulado anteriormente. Usamos as bibliotecas de Blitz GMap Editor⁵ para gerar um arquivo KML contendo os polígonos criados. Keyhole Markup Language (KML) é um formato de arquivo utilizado para exibir dados geográficos em sistemas de informação geográfica para visualização da Terra padronizado pela OGC [OGC 2015].

No Google Maps foi então criado um novo mapa no modo satélite (visão de imagens aéreas) utilizando Feira de Santana como plano de fundo. Importamos o arquivo KML criando uma nova camada no mapa. As construções foram envolvidas com polígonos e exportado um novo KML para cada sítio contendo apenas estes polígonos que representam as porções de área construída. A Figura 4.5 demonstra a etapa de geração de polígonos envolvendo as construções da área estuda.

Em posse dos novos arquivos, remodelamos o mapa local para que, ao renderizar os limites dos sítios, abra o KML corresponde, calcule a soma das áreas dos polígonos presentes e a porcentagem em relação à área da circunferência do sítio.

²A velocidade de fricção é um parâmetro exigido pelos modelos para cálculo da área de fonte térmica, sendo esta a velocidade do vento resultante de seus vetores num eixo tridimensional.

³Ver documentação em <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/>.

⁴Disponível em <https://maps.google.com/>. A criação de mapas é restrita a usuários registrados.

⁵Disponível em <https://github.com/sameer-shelavale/blitz-gmap-editor>.



Figura 4.5: Marcação das construções para conversão em KML e posterior cálculo da área construída no sítio

4.2 Resultados alcançados

Após obter os metadados, realizar observações nos sítios e compara-los com os dados das tabelas de dados padrão do método de classificação LCZ, presentes no Apêndice B, pudemos atribuir classes LCZ a todos os sítios estudados. Na Tabela 4.1 estão as medições realizadas na etapa inicial, enquanto que, na sequência, a Tabela 4.2 mostra mais detalhadamente a observação realizada e ilustrações dos tipos de construção e superfícies predominantes em cada local.

Tabela 4.1: Metadados coletados e classificação das Zonas de Clima Local de sítios urbanos de Feira de Santana

Nome	Lat.	Long.	Data	T ^a	U ^b	PO ^c	IC ^d	cons- truído ^e	Classe LCZ
35° BI	-12.28775	-38.92876	01/03/2016	32°C	39%	16,34°C	32,1°C	28%	LCZ 6
Aeroporto	-12.20249	-38.90866	21/02/2016	33°C	36%	15,97°C	32,98°C	7%	LCZ 8 _D
Alto do Papagaio	-12.20782	-38.93387	21/02/2016	36°C	37%	19,05°C	38,14°C	2%	LCZ C _B
Baraúna	-12.20047	-38.98329	08/02/2016	30°C	51%	18,79°C	31,21°C	0%	LCZ C _D
Brasília	-12.27425	-38.9449	16/02/2016	33°C	39%	17,23°C	33,58°C	26%	LCZ 6
Calumbi	-12.25567	-38.98515	09/02/2016	32°C	40%	16,34°C	32,11°C	68%	LCZ 3
Campo do Gado Novo	-12.21736	-38.99935	08/02/2016	32°C	42%	17,51°C	32,65°C	44%	LCZ 6 _C
Campo Limpo	-12.20681	-38.96924	08/02/2016	29°C	46%	16,24°C	29,2°C	61%	LCZ 3 _{5B}
Capuchinhos	-12.26205	-38.94172	16/02/2016	33°C	39%	17,23°C	33,58°C	60%	LCZ 3 ₅
Centro	-12.25551	-38.96133	09/02/2016	31°C	38%	15,05°C	30,64°C	67%	LCZ 2 ₄
Conceição	-12.23439	-38.92331	21/02/2016	34°C	36%	16,85°C	34,47°C	20%	LCZ 6 _C
Conjunto Viveiros	-12.28616	-38.98565	07/03/2016	32°C	39%	16,34°C	32,1°C	55%	LCZ 3 _B
Cruzeiro	-12.24636	-38.97309	09/02/2016	36°C	37%	19,05°C	38,14°C	61%	LCZ 2 ₆
Estrada Corredor dos Araçás	-12.26094	-38.90346	29/02/2016	34°C	39%	18,12°C	35,18°C	2%	LCZ C _A
Feira X	-12.28134	-38.97103	07/03/2016	31°C	41%	16,24°C	31,06°C	41%	LCZ 3 _{5B}
Francisco Pinto	-12.29945	-38.94627	01/03/2016	33°C	38%	16,82°C	33,37°C	54%	LCZ 3 ₈
Gabriela	-12.23359	-38.98686	08/02/2016	34°C	41%	18,92°C	35,69°C	51%	LCZ 3
George Américo	-12.22056	-38.97608	08/02/2016	33°C	40%	17,63°C	33,79°C	77%	LCZ 3
Lagoa grande	-12.24938	-38.94116	16/02/2016	39°C	30%	18,3°C	41,24°C	49%	LCZ 3 _{FG}
Lagoa Salgada	-12.27394	-38.9211	29/02/2016	32°C	42%	17,51°C	32,64°C	8%	LCZ 9 _G
Limoeiro	-12.31249	-38.89615	01/03/2016	32°C	40%	16,74°C	32,28°C	45%	LCZ 3 _B
Mangabeira	-12.22778	-38.9388	21/02/2016	35°C	37%	18,16°C	36,36°C	22%	LCZ 6 ₅
Mediações do Aeroporto	-12.21591	-38.92003	21/02/2016	35°C	36%	17,73°C	36,09°C	1%	LCZ C _B
Muchila	-12.26756	-38.9767	07/03/2016	32°C	40%	16,74°C	32,28°C	64%	LCZ 3
Muchila 1	-12.23261	-38.9658	09/02/2016	31°C	41%	16,24°C	31,06°C	33%	LCZ 5
Novo Horizonte	-12.18503	-38.96991	08/02/2016	29°C	52%	18,18°C	29,91°C	3%	LCZ C _D
Olhos d'água	-12.2693	-38.95962	07/03/2016	34°C	36%	16,85°C	34,47°C	47%	LCZ 5 ₃
Parque Asa Branca	-12.19577	-39.00527	08/02/2016	29°C	45%	15,9°C	29,1°C	4%	LCZ C _D
Parque Ipê	-12.21571	-38.95129	21/02/2016	35°C	36%	17,73°C	36,09°C	51%	LCZ 3 _{5B}
Parque Panorama	-12.31723	-38.95095	01/03/2016	33°C	37%	16,4°C	33,17°C	28%	LCZ 6
Santo Antônio dos Prazeres	-12.24152	-38.90037	29/02/2016	33°C	41%	18,02°C	34°C	2%	LCZ C _B
São João	-12.24146	-38.95391	16/02/2016	35°C	36%	17,73°C	36,06°C	59%	LCZ 3
SIM	-12.25234	-38.92162	29/02/2016	35°C	38%	18,59°C	36,63°C	24%	LCZ 6
Subaé	-12.29845	-38.9125	01/03/2016	32°C	40%	16,74°C	32,28°C	12%	LCZ 9
Tomba	-12.28402	-38.95533	07/03/2016	32°C	39%	16,34°C	32,1°C	69%	LCZ 3

^a Temperatura em graus Celsius.^b Porcentagem de umidade relativa.^c Ponto de orvalho em graus Celsius.^d Índice de Calor em graus Celsius.^e Porcentagem de área construída aproximada.

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continua)

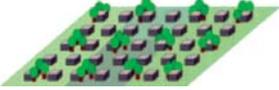
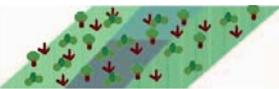
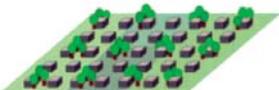
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>35° BI</p>  <p>LCZ 6 Aberto de baixa elevação</p>	<p>Ruas estreitas de terra, com baixo trânsito de automotores e moderado de pessoas. Maioria das construções é residencial térrea, com ocorrência de alguns conjuntos habitacionais de um andar. Todas as construções são em alvenaria e anexas. Arborização abundante nos arredores.</p>
<p>Aeroporto</p>  <p>LCZ 8_D Largo de baixa elevação com plantas baixas</p>	<p>Área aeroportuária, região livre de obstáculos senão por árvores ao redor. Para além dos limites do aeroporto, a paisagem parece ainda ser nativa, quando não, pastos de fazendas e pequenos sítios figuram o lugar. Ação do vento constante. Pouco trânsito (no aeroporto funciona apenas uma companhia aérea para voos domésticos).</p>
<p>Alto do Papagaio</p>  <p>LCZ C_B Arbusto, relva com árvores dispersas</p>	<p>Construções residenciais em alvenaria. Características de região rural. Na parte externa mais próxima da cidade apresenta pavimento asfáltico, grandes terrenos com vegetação rasteira e pequenas construções no centro; e na parte mais rural, as estradas são de terra com vegetação mais densa típica do semiárido. Geralmente as áreas com mais concentração de residências são condomínios de casas.</p>
<p>Baraúna</p>  <p>LCZ C_D Arbusto, relva com plantas baixas</p>	<p>Região com vegetação rasteira densa e pastos, poucas construções, grandes terrenos com pequenas casas em alvenaria no centro. As ruas são de terra e quase nenhuma atividade humana foi observada no local. Devido a área extremamente aberta com grande incidência de raios solares, parte da vegetação está seca.</p>
<p>Brasília</p>  <p>LCZ 6 Aberto de baixa elevação</p>	<p>Região urbana em desenvolvimento. Vegetação abundante nos arredores. Construções em alvenaria de nível térreo contemplando principalmente casas. Curtas vias cobertas por blocos de pedra com trânsito de veículos e pessoas baixo.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

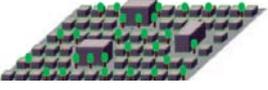
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Calumbi</p>  <p>LCZ 3 Compacto de baixa elevação</p>	<p>Bairro residencial sem arborização, ruas geralmente em blocos de pedra, mas as principais são em asfalto. Construções em alvenaria anexadas, apresenta térreos e sobrados em proporção semelhante. Atividades humana e de veículos é intensa.</p>
<p>Campo do Gado Novo</p>  <p>LCZ 6_C Aberto de baixa elevação com arbusto, relva</p>	<p>Toda a região é envolvida de um lado por floresta nativa e por outro por vastos pastos. As vias são cobertas por blocos de pedra ou chão batido, sendo que esta região apresenta características de cânion. Construções em alvenaria, aglomeradas em alguns pontos, entretanto há um espaço considerável entre cada ajuntamento. Pouco trânsito de pedestres e automóveis.</p>
<p>Campo Limpo</p>  <p>LCZ 3_{5B} Compacto de baixa elevação com aberto de média elevação e árvores dispersas</p>	<p>Região urbana moderadamente desenvolvida, apresenta prédios de até três andares, mas predominam construções térreas e sobrados, todas em alvenaria. Possui alguns comércios e quadra de esportes pública, com ruas revestidas em blocos de pedra. Arborização moderada, bem como tráfego de veículo e pedestres.</p>
<p>Capuchinhos</p>  <p>LCZ 3₅ Compacto de baixa elevação com aberto de média elevação</p>	<p>Tanto comércio quanto residências são observados. O comércio nesta região é bem desenvolvido, por isso apresenta construções comerciais de um andar na maioria e alguns prédios, tudo em alvenaria. Construções aglomeradas com algumas unidades de terreno gramadas com casas no centro. Nas ruas predomina pavimentação asfáltica. Moderadamente arborizado com pouco trânsito de pedestres, porém um pouco elevado para veículos automotores.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

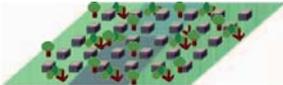
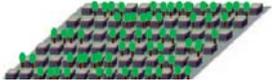
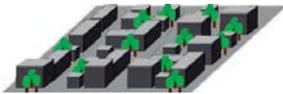
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Centro</p>  <p>LCZ 2₄ Compacto de média elevação com aberto de alta elevação</p>	<p>Centro da cidade, sítio quase que comercial em sua totalidade, apresenta grandes prédios, todas as construções anexas. Ruas pavimentadas, alta concentração e tráfego de veículos durante todo o dia. Canteiros centrais arborizados.</p>
<p>Conceição</p>  <p>LCZ 6_C Aberto de baixa elevação com arbusto,relva</p>	<p>Tem várias residências, todas aglomeradas, porém há muito terreno sem qualquer construção. Parte da vegetação que a rodeia é nativa. Ruas em blocos de pedra e terra. As casas são bem pequenas, aparentam ter entre 50 e 70m² e são apenas térreas.</p>
<p>Conjunto Viveiros</p>  <p>LCZ 3_B Compacto de baixa elevação com árvores dispersas</p>	<p>Um bairro separado da cidade. Intensamente arborizado ao redor, região quase que rural. Construções em alvenaria, na maioria residencial, com presença semelhante de construções térreas e de um andar. As ruas são blocos de pedra. Trânsito de pessoas é moderado, e foi observado pouco trânsito de veículos.</p>
<p>Cruzeiro</p>  <p>LCZ 2₆ Compacto de média elevação com aberto de baixa elevação</p>	<p>Região completamente pavimentada, possui praça pública e estádio de futebol. Aparenta ter mais sobrados e comércios de um andar na maioria. Áreas abertas geralmente arborizadas. Construções em alvenaria aglomeradas sem espaçamento entre elas. Trânsito de veículo um pouco mais intenso e moderada atividade humana.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

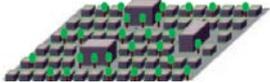
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Estrada Corredor dos Araçás</p>  <p>LCZ C_A Arbusto, relva com árvores aglomeradas</p>	<p>Rodovia, ao lado de zona rural. Por isso a região é ampla e aberta, mas sem qualquer tipo de cobertura. Existem muitas árvores em volta, e a estrada é bem larga. Na parte rural as ruas são de terra e estreitas, enquanto que na estrada é asfalto. Não há muito tráfego de veículos, e praticamente não há qualquer outro tipo de atividade humana. Durante as medições os sensores ficaram expostos ao sol pela falta de cobertura no local.</p>
<p>Feira X</p>  <p>LCZ 3_{5B} Compacto de baixa elevação com aberto de média elevação e árvores dispersas</p>	<p>Pouca urbanização. Há ruas estreitas de terra, pedra e asfalto. Próximo às ruas principais há muito comércio com prédios de até dois andares, porém predominam as residências térreas. Todas as construções são em alvenaria e anexas. Atividade humana é moderada, assim como de veículos trafegando no local.</p>
<p>Francisco Pinto</p>  <p>LCZ 3₈ Compacto de baixa elevação com largo de baixa elevação</p>	<p>Moderadamente arborizado, construções anexadas, em proporções semelhantes entre aquelas que possuem um andar e térreas. Foi percebida boa estrutura para ventilação. Ruas são em geral estreitas e feitas de blocos de pedra. Avenidas principais são mais largas e arborizadas. Trânsito de veículos baixo e atividade humana moderada.</p>
<p>Gabriela</p>  <p>LCZ 3 Compacto de baixa elevação</p>	<p>Sem arborização, conglomerado de residências e pequenos comércios em alvenaria geralmente com um andar. Todas as construções são anexas, ruas estreitas com blocos de pedra e algumas de terra. Trânsito de veículos e pessoas moderado.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

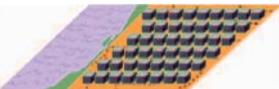
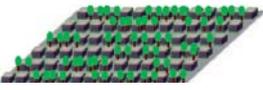
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>George Américo</p>  <p>LCZ 3 Compacto de baixa elevação</p>	<p>Moderadamente arborizado, observada praça pública com avenida específica para comércio, além de outros pequenos comércios mesclados a residências. Construções predominantemente em alvenaria com até um andar. A maioria das ruas são em pedra e outras poucas em asfalto. A largura das vias é normal, com trânsito de pessoas e veículos moderado.</p>
<p>Lagoa Grande</p>  <p>LCZ 3_{FG} Compacto de baixa elevação com chão batido e água</p>	<p>Região sem arborização. Ruas em pedra e terra muito estreitas. Construções em alvenaria, aglomeradas, geralmente apresentam andar e são residenciais apenas. Há pouco trânsito. Apresenta graves problemas de saneamento básico.</p>
<p>Lagoa Salgada</p>  <p>LCZ 9_G Escassamente construído e água</p>	<p>Região pouco urbanizada próximo à rodovia. Há grandes campos vastos e abertos sem qualquer obstrução. Há açudes e rios próximos com vegetação oriunda desse tipo de ambiente. Predominância de residências térreas aglomeradas, porém em pouca quantidade. Ruas são de terra. Há pouquíssimo tráfego de veículos e pessoas. Quase não foram percebidas árvores no local, senão distribuídas pelos pastos.</p>
<p>Limoeiro</p>  <p>LCZ 3_B Compacto de baixa elevação com árvores dispersas</p>	<p>Intensamente arborizado com arredores de mata. Ruas largas em blocos de pedra. Trânsito de pedestres e veículos é reduzido. Construções anexas geralmente residenciais térreas. Observação para ventilação que é bem forte nesta região.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Mangabeira</p>  <p>LCZ 6₅ Aberto de baixa elevação com aberto de média elevação</p>	<p>Bastante mata nativa, condomínios e quadra de futebol (de terra a céu aberto). Ruas em blocos de pedra e algumas asfaltadas, maior parte das construções é residencial, térreas e aglomeradas, com trânsito moderado.</p>
<p>Mediações do Aeroporto</p>  <p>LCZ C_B Arbusto, relva com árvores dispersas</p>	<p>Região rural, porém arredores possuem características urbanas. A parte mais urbana tem ruas principais em pavimento asfáltico com vias laterais em terra. Quanto às construções predominam residências, mas são praticamente condomínios prediais. A atividade humana é bem avantajada. Na parte rural são grandes terrenos com casas no início. Vegetação predominantemente rasteira, mas possui algumas árvores.</p>
<p>Muchila</p>  <p>LCZ 3 Compacto de baixa elevação</p>	<p>Não urbanizado. Construções em alvenaria, geralmente térreas e residenciais. As ruas tão estreitas onde não passam dois carros de passeio em paralelo. Trânsito de veículos extremamente baixo, de pessoas é brando.</p>
<p>Muchila I</p>  <p>LCZ 5 Aberto de média elevação</p>	<p>Ruas em pedra, mas observa-se cobertura de areia, há diversos terrenos apenas murados e as casas presentes no local são de médio porte (cobrem quase ¼ de uma quadra), geralmente com um andar e em alvenaria. Existem também galpões e supermercados. Possui espaço verde com lago. Região envolta por avenidas de grande movimentação durante todo o dia.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

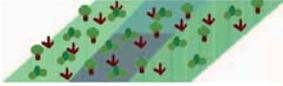
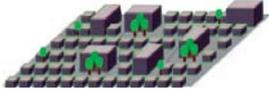
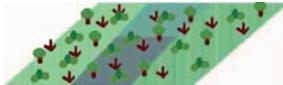
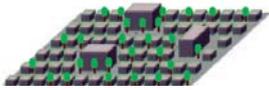
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Novo Horizonte</p>  <p>LCZ C_D Arbusto, relva com plantas baixas</p>	<p>Vegetação densa e construções em alvenaria aglomeradas em grandes terrenos. As ruas são de terra e apresentam indícios claros de erosão por chuva. A vegetação comum contempla espécies de até 2 metros de altura típicas da caatinga com algumas árvores ao fundo. Pouca atividade humana foi detectada no local.</p>
<p>Olhos d'água</p>  <p>LCZ 5_3 Aberto de média elevação com compacto de baixa elevação</p>	<p>Maior desenvolvimento na parte comercial. As construções são em alvenaria chegando a apresentar prédios com mais de uma dezena de andares. A presença de prédios é maior nesta região. Ruas estreitas em asfalto. Trânsito de veículos intenso e atividade humana moderada.</p>
<p>Parque Asa Branca</p>  <p>LCZ C_D Arbusto, relva com plantas baixas</p>	<p>Vegetação é em maioria rasteira na forma de pasto usado no trato de animais. Região com características rurais. Casas em alvenaria, possuem quintais grandes e em algumas até mesmo gado, por isso as casas estão muito separadas umas das outras. Todas as ruas são estreitas e de terra. Atividade humana e de veículos muito baixa.</p>
<p>Parque Ipê</p>  <p>LCZ 3_{5B} Compacto de baixa elevação com aberto de média elevação e árvores dispersas</p>	<p>Ruas principais são ligeiramente largas com canteiros centrais em grama e arborizados, além de passarela pavimentada para caminhada. Trânsito intenso em ruas largas, as principais em asfalto e demais em pedra. Poucas ocorrências de construções com andar, exceto pela presença de alguns grandes condomínios. Maior parte das construções é residencial, com foco de comércio na avenida principal. Nos terrenos há boa parte de área não construída. Arborização no local é abundante, grandes árvores e aparentemente antigas. Residências com gramado ou jardim no meio fio.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

(continuação)

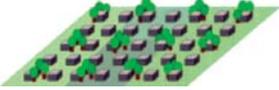
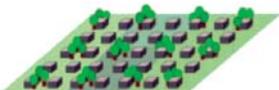
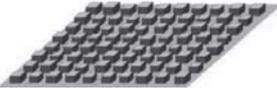
Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Parque Panorama</p>  <p>LCZ 6 Aberto de baixa elevação</p>	<p>Muito arborizado por fazer divisa com região de rodovia, há muita vegetação e florestas próximas. Há residências em alvenaria, na maioria aglomeradas, porém, por ser uma região urbana em desenvolvimento, há espaços consideráveis entre cada aglomerado. Ruas são estreitas e maioria de terra, havendo ocorrências de blocos de pedra nas partes mais próximas da rodovia. Foi observado pouco tráfego de pessoas e veículos.</p>
<p>Santo Antônio dos Prazeres</p>  <p>LCZ C_B Arbusto, relva com árvores dispersas</p>	<p>Zona rural com margens urbanas. Quase não se vê casas na parte rural, a parte urbana possui condomínios e conjuntos habitacionais de mesma estrutura: são amplos, abertos e muito arborizados. A vegetação é abundante e aparenta ser nativa. Na parte urbana as ruas são de asfalto e pedra, na parte rural apenas terra. Atividade humana na parte urbana é quase que integralmente construções que estão acontecendo nesses condomínios. Na parte rural quase não se vê pessoas.</p>
<p>São João</p>  <p>LCZ 3 Compacto de baixa elevação</p>	<p>Apresenta residências e comércios de pequeno porte, construções em alvenaria, aglomeradas na maioria. Observa-se que porções de terrenos sem área construída são pavimentadas. Ruas principais são ligeiramente largas com canteiros centrais em grama e arborizados com meio pavimentado para caminhada. Trânsito intenso. Poucas ocorrências de construções com andar.</p>
<p>SIM</p>  <p>LCZ 6 Aberto de baixa elevação</p>	<p>Região aparenta ser bem desenvolvida residencialmente, existem alguns condomínios com arquitetura privilegiada. Predomina a estrutura de grandes terrenos com casas no centro, porém há também muitos terrenos não utilizados. Aqueles que possuem construções estão todos murados, mas os muros são baixos. Existem poucas casas com um andar, maioria térrea. Ruas pavimentadas em asfalto com ocorrência de ruas de terra, todas são bem largas. Atividade humana reduzida, assim como o tráfego de veículos. Há muita mata nativa ao lado das construções.</p>

Tabela 4.2: Ilustração das classes LCZ de sítios urbanos de Feira de Santana e descrição das observações realizadas

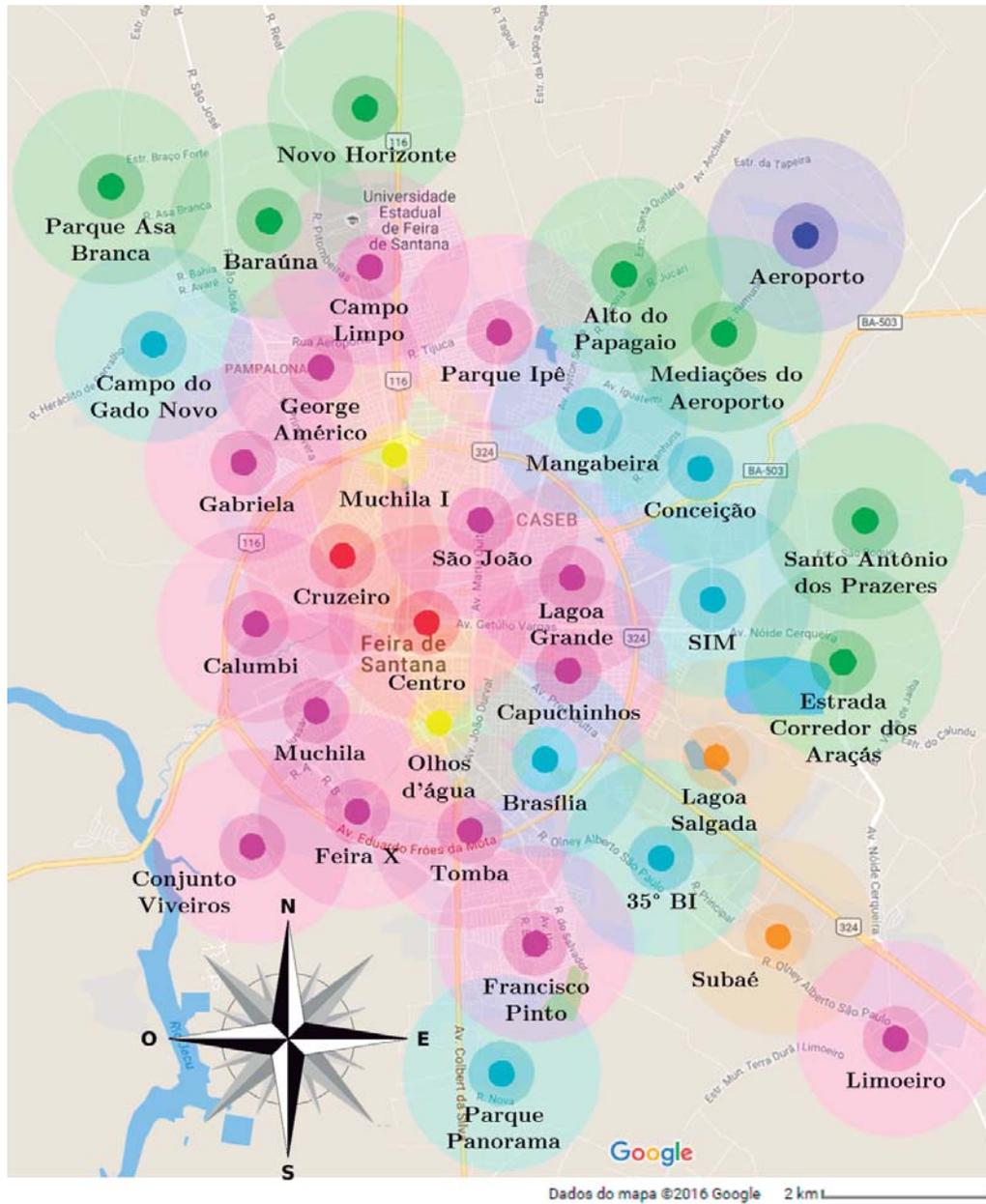
(conclusão)

Sítio/Classe LCZ	Descrição
<p>Subaé</p>  <p>LCZ 9 Escassamente construído</p>	<p>Região rural, campos abertos e vastos. Sem cobertura, predominam pastos. Ruas de terra, muito curtas. Sem atividade humana ou de veículos. Construções são bem raras no início das fazendas, sendo as existentes feitas em alvenaria.</p>
<p>Tomba</p>  <p>LCZ 3 Compacto de baixa elevação</p>	<p>Região essencialmente residencial. Ruas em asfalto e pedra, trânsito moderado de veículos e baixo de pessoas. Construções em alvenaria, de até um andar, porém predominam as construções térreas. Os terrenos são amplos e as casas deixam espaço para ventilação e quintal.</p>

A partir da tabela de metadados e classificação dos sítios, criamos o mapa da Figura 4.6 para demonstrar a distribuição espacial dos climas locais de Feira de Santana. Também desenvolvemos este mapa de forma interativa⁶ para divulgar à comunidade os dados aqui apresentados utilizando Google Maps API. O código-fonte também foi disponibilizado em repositório público⁷.

⁶Disponível em <http://lcz-fsa.herokuapp.com/>.

⁷Disponível em <https://github.com/natanaelsimoes/LCZ-FSA/>.



- LCZ 2 – Compacto de média elevação Raio do círculo interno^a: 200m
- LCZ 3 – Compacto de baixa elevação Raio do círculo intermediário^a: 500m
- LCZ 5 – Aberto de média elevação Raio do círculo externo^b: 1,5km
- LCZ 6 – Aberto de baixa elevação
- LCZ 8 – Largo de baixa elevação
- LCZ 9 – Escassamente construído ^aMínimo e máximo experimentais para o raio de um sítio urbano.
- LCZ C – Arbusto, relva ^b Visualização das zonas de transição.

Figura 4.6: Mapa com a classificação das Zonas de Clima Local de sítios urbanos de Feira de Santana

Capítulo 5

Framework de sensoriamento

Métodos tradicionais de observação não se adequam totalmente à realidade das cidades quanto à seleção de sítios e exposição de instrumentos devido à obstrução do fluxo de ar e troca de radiação pelos prédios e árvores, superfícies de cobertura não natural e gasto de calor e vapor de água de atividades humanas. Por isso Oke, em relatório à Organização Mundial de Meteorologia (WMO) em 2004, publicou orientações para assimilação de dados atmosféricos representativos dentro de áreas urbanas, atualizando o documento mais tarde em 2006 [Oke 2004, Oke 2006].

Existem muitos desafios na meteorologia urbana: Como selecionar os sítios? Onde instalar as estações? Como interpretar os dados? Isto se torna mais difícil por causa da complexidade e heterogeneidade dos ambientes urbanos, então cada sítio representa um experimento distinto. Por esta razão, ao contrário dos métodos tradicionais, regras de como conduzir uma estação de sítio urbano precisam ser modeladas pela realidade do ambiente.

Naquele trabalho foi demonstrado por Oke que não há iniciativa dos órgãos de monitoramento climático no sensoriamento do clima em escala local enquanto sítios urbanos [Oke 2006], apesar de esta ser uma atividade essencial para melhorar a qualidade de vida das comunidades. Por ser essa uma área escassa de recursos que proporcionem uma infraestrutura adequada para se realizar meteorologia urbana, propomos a seguir um framework de sensoriamento para prover dados meteorológicos de sítios urbanos.

Nas próximas seções discutiremos sobre a organização lógica do framework, que define a coleta dos dados por estações automáticas de baixo custo conectadas à internet, e a visualização desses dados geoespacializados através do 52° North SOS (apresentado na subseção 2.4.1). Para a construção do protótipo das estações levamos em consideração a coleta de temperatura e umidade apenas para efeito de demonstração do framework, sendo possível a inclusão de mais tipos de sensores na versão final.

O procedimento adotado para a construção das estações levou em consideração os

critérios de exposição dos sensores de temperatura e umidade da WMO garantindo que os dados medidos são relevantes para o clima urbano. Por se tratar de componentes eletrônicos, a estrutura das estações deve ser impermeável e ao mesmo tempo permitir o livre fluxo de ar.

Escolhemos a placa Arduino Nano para controlar toda a parte lógica do processo devido a facilidade de programação e, posteriormente, sua alta capacidade de reprodutibilidade habilitando qualquer iniciante em automação realizar sua montagem e configuração. A popularização do Arduino, assim como outras placas que seguem a filosofia de hardware livre, provocou um aumento de sensores digitais pré-calibrados no mercado. Tudo isso contribuiu para diminuição do custo em projetos de automação assim como este proposto.

Além das preocupações com a construção física, lógica e dos sensores, não se pode esquecer da inserção da estação à Internet permitindo comunicação com o servidor SOS. Nesta etapa foram verificados projetos de estações que sigam estes princípios em busca de uma implementação existente para o propósito aqui estabelecido. Contudo não foram encontrados quaisquer trabalhos fundamentados em Internet das Coisas, por isso propomos um novo sistema de aquisição automática de dados (ADAS – Automated Data Acquisition System) para comunicação com instâncias SOS.

5.1 Arquitetura de integração

Os muitos componentes que fazem parte da solução que se configura no desenrolar deste framework demandam organização sistêmica quanto ao papel de cada componente e as formas pelas quais eles irão se comunicar a fim de atingir o objetivo proposto. A definição de uma arquitetura precisa ser estabelecida para garantir tanto a habilitação do processamento de dados quanto um meio para realçar a compreensão que se tem sobre toda a solução de forma holística.

A Figura 5.1 apresenta a arquitetura lógica do sistema detalhadamente. Esta arquitetura é baseada no framework de IoT e contém quatro camadas: camada de percepção, camada de rede, camada de middleware e camada de aplicação.

Na prática, este modelo permite que várias estações sejam ligadas a um mesmo servidor implementando as especificações da camada de middleware, gerando requisições válidas para um servidor de aplicação rodando uma instância de 52°North SOS. Não há limitações quanto a onde esses serviços serão instalados, podendo ficar tanto fisicamente em locais diferentes quanto em um mesmo servidor. A Figura 5.2 mostra um exemplo de cenário possível em que a implantação das camadas de middleware e aplicação foi realizada em servidores fisicamente separados.

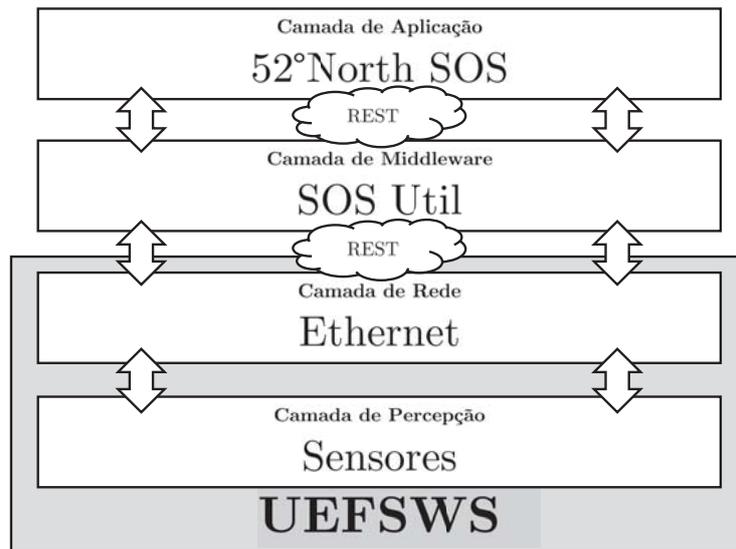


Figura 5.1: Framework do Sistema de Aquisição Automática de Dados proposto

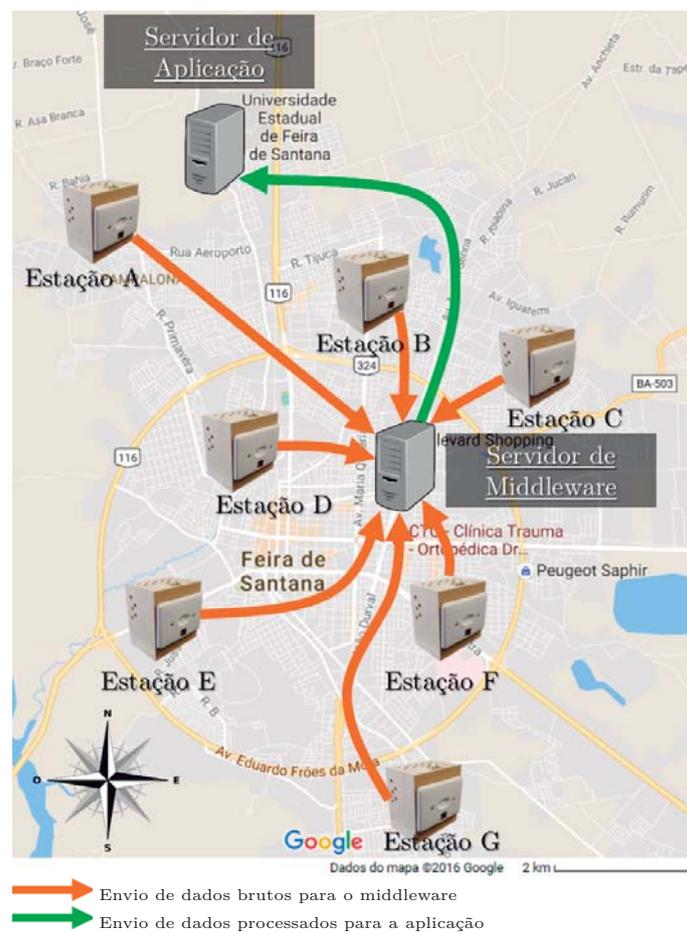


Figura 5.2: Possível cenário de comunicação utilizando a framework proposta

5.1.1 Camada de Percepção

Esta camada consiste em sensores usados para coletar dados de temperatura e umidade.

Os sensores em geral, utilizados para medir a temperatura do ar, são adequados para uso em áreas urbanas, levando em consideração apenas a acurácia demandada pela aplicação e características das respostas. Contudo o pesquisador deve estar atento durante a instalação destes sensores evitando contato direto com radiação, como exposição direta ao sol, e mantê-los em um ambiente com ventilação [Oke 2006].

Pelo fato de os sensores serem montados dentro da camada de cobertura da superfície (UCL), eles podem ficar relativamente próximos de superfícies quentes como estradas e telhados, ou receber radiação refletida por outros corpos. Por este motivo é que estações urbanas precisam ter uma boa cobertura e ser obrigatoriamente ventiladas.

Em todas as montagens realizadas, as condições de proteção contra radiação e meios providos para ventilação devem ser os mesmos em todos os sítios.

A orientação do eixo das ruas deve ser levada em consideração nos casos em que o estudo realizar monitoramento contínuo. Ruas com orientação norte-sul são mais indicadas do que aquelas que são Leste-Oeste para diminuir a distorção de fase causada pelo curso diurno do sol.

Outro cuidado é quanto a montagem perto de telhados: eles são projetados para impedir a maior parte de troca térmica para dentro das construções, ficando os próprios telhados muito quentes enquanto que estruturas mais próximas da superfície estão mais amenas. À noite o contrário acontece, ficando o telhado relativamente gelado e as outras estruturas aquecidas. Se possível, o sensor de temperatura deve ser instalado acima do nível dos telhados, em uma altura maior que $1,5Z_H$, para evitar as influências deste fenômeno.

Sensores para coletar umidade possuem diretrizes similares aos de temperatura. Os instrumentos normalmente utilizados são psicrômetros e higrômetros de cabelo, lítio ou resistivos.

A dificuldade com a exposição deste tipo de sensor é quanto à sua degradação por conta do ambiente. Geralmente eles são sensíveis à poeira, óleo e poluentes que, em certos casos, estão em quantidade considerável no ar. Por conta disso, alguns demandam manutenção constante para que não fiquem contaminados; outros que sejam substituídos após um período de uso.

Proteção contra radiação e outras fontes de energia térmica, além de ventilação, também são características obrigatórias para seu funcionamento adequado.

A frequência de medições a serem realizadas é recomendada pela WMO da seguinte maneira: (a) para temperatura do ar devem ser coletadas amostras a cada 20 segundos e armazenada apenas a média dos valores coletados a cada minuto; (b) para

umidade relativa, a frequência de coleta será de 20 segundos caso o instrumento seja um psicrômetro, ou 40 segundos para os demais tipos, permanecendo 1 minuto para armazenamento da média [WMO 2012]. Na Figura 5.3 ilustramos, através de um Diagrama de Tempo, um exemplo em que um controlador utiliza sensores de temperatura e umidade seguindo as recomendações da WMO.

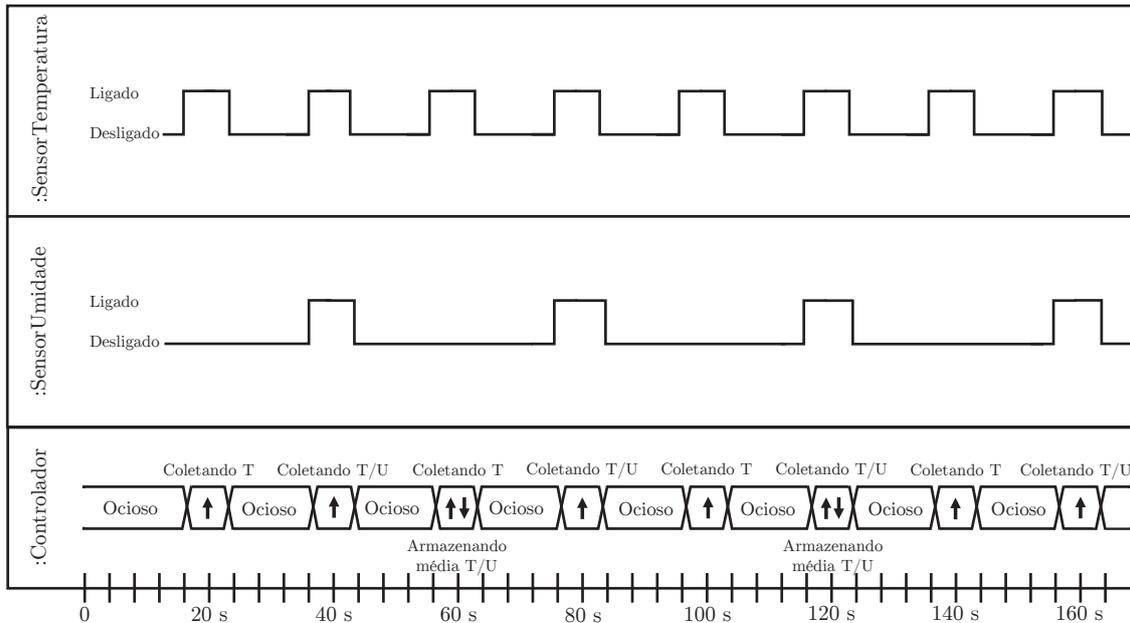


Figura 5.3: Diagrama de tempo representando as recomendações da WMO para frequência de coleta de temperatura do ar (T) e umidade relativa (U)

5.1.2 Camada de Rede

A camada de rede representa funções de transmissão de dados. Para transferir dados, o sistema de sensores e um *middleware* trocam requisições e respostas HTTP via RESTful API. Ao tentar enviar, se a conexão com o servidor falhar, a observação será enfileirada para ser enviada em um outro momento.

Juntas, a camada de percepção e rede compõem a construção da estação, que é a entidade responsável pela coleta, com estrutura descrita em notação gráfica semi-formal pelo diagrama de classes da UML na Figura 5.4; e processo que será executado pela estação é detalhado no diagrama de atividades da Figura 5.5.

5.1.3 Camada de Middleware

Middleware em computação é conhecido por ser um programa de computador que media comunicação entre diferentes sistemas e aplicações.

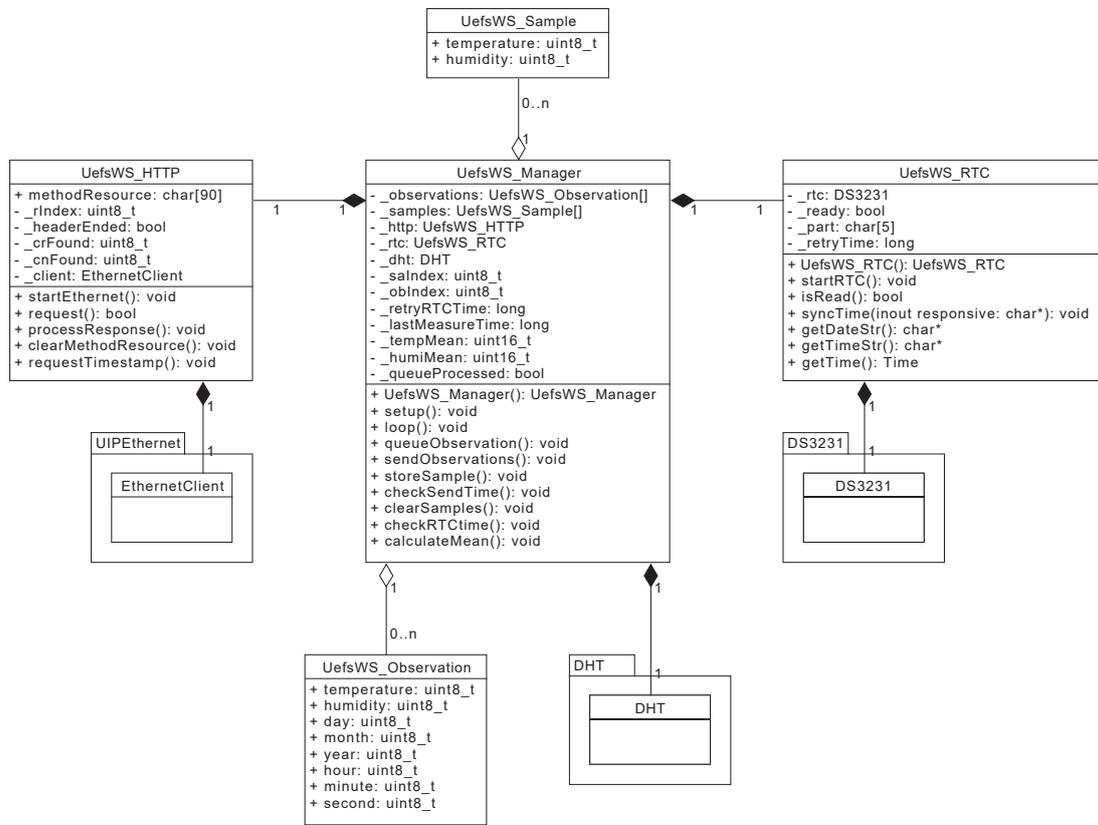


Figura 5.4: Diagrama de classes do Sistema de Aquisição Automática de Dados

Esta camada é mediadora entre o ADAS e o SOS. Microcontroladores com baixa capacidade de memória como Arduino Nano, o qual usa um microcontrolador Atmel ATmega328P com 2KB SRAM, não conseguem processar grandes arquivos de texto XML ou JSON como requerido pelas especificações SOS. Em nossos testes, uma requisição para inserção de apenas um dado escalar para um único fenômeno consumiria cerca de 15KB da memória se esta pudesse ser embarcada no sistema.

Portanto esta camada deve receber dados brutos de temperatura e umidade através de uma requisição HTTP via RESTful API, a fim de processá-los e criar um documento SOS válido, para então enviar a requisição gerada para a camada de aplicação e encaminhar a resposta recebida de volta à estação.

5.1.4 Camada de Aplicação

A camada de aplicação estará executando uma instância de 52°North SOS que promove funções de armazenamento, consulta e gerenciamento de dados coletados por sensores. A visualização dos dados será realizada através do 52°North SensorWeb JS Client (abordado na subseção 2.4.2).

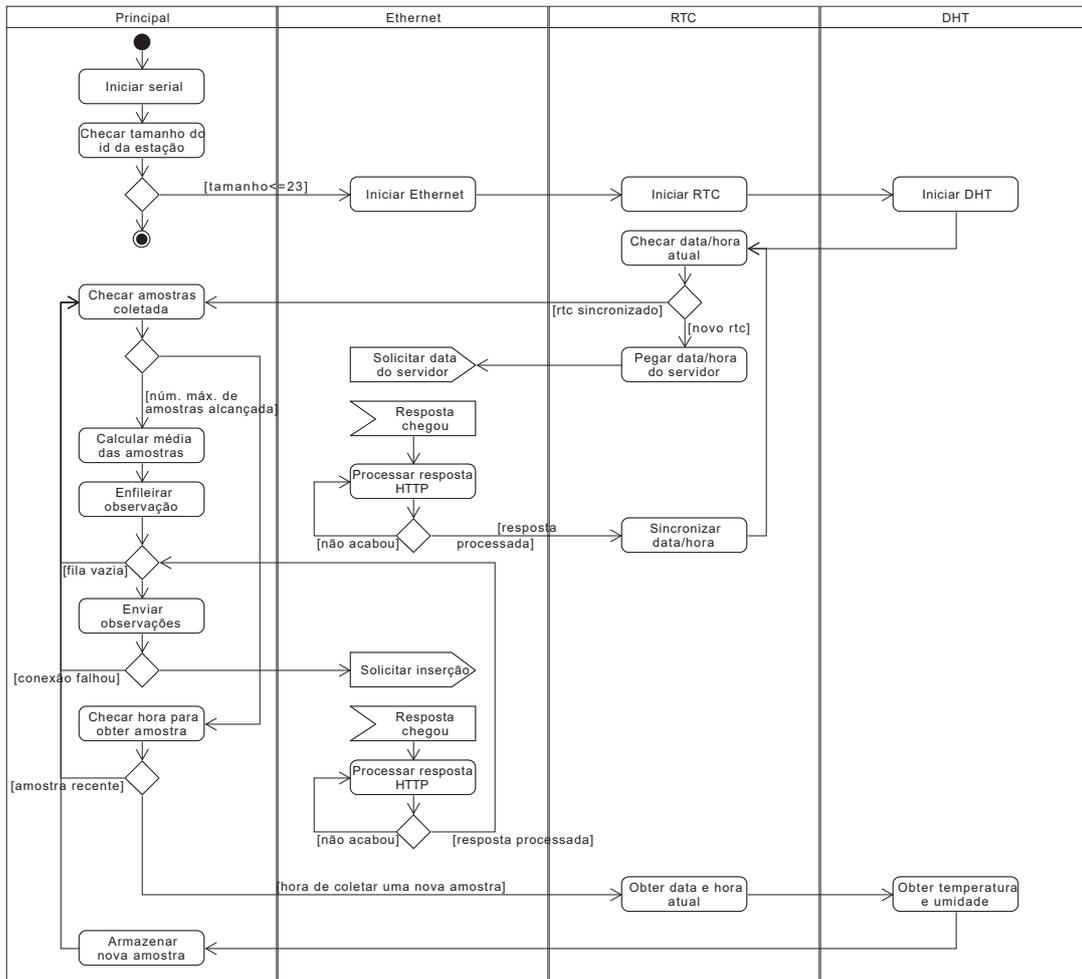


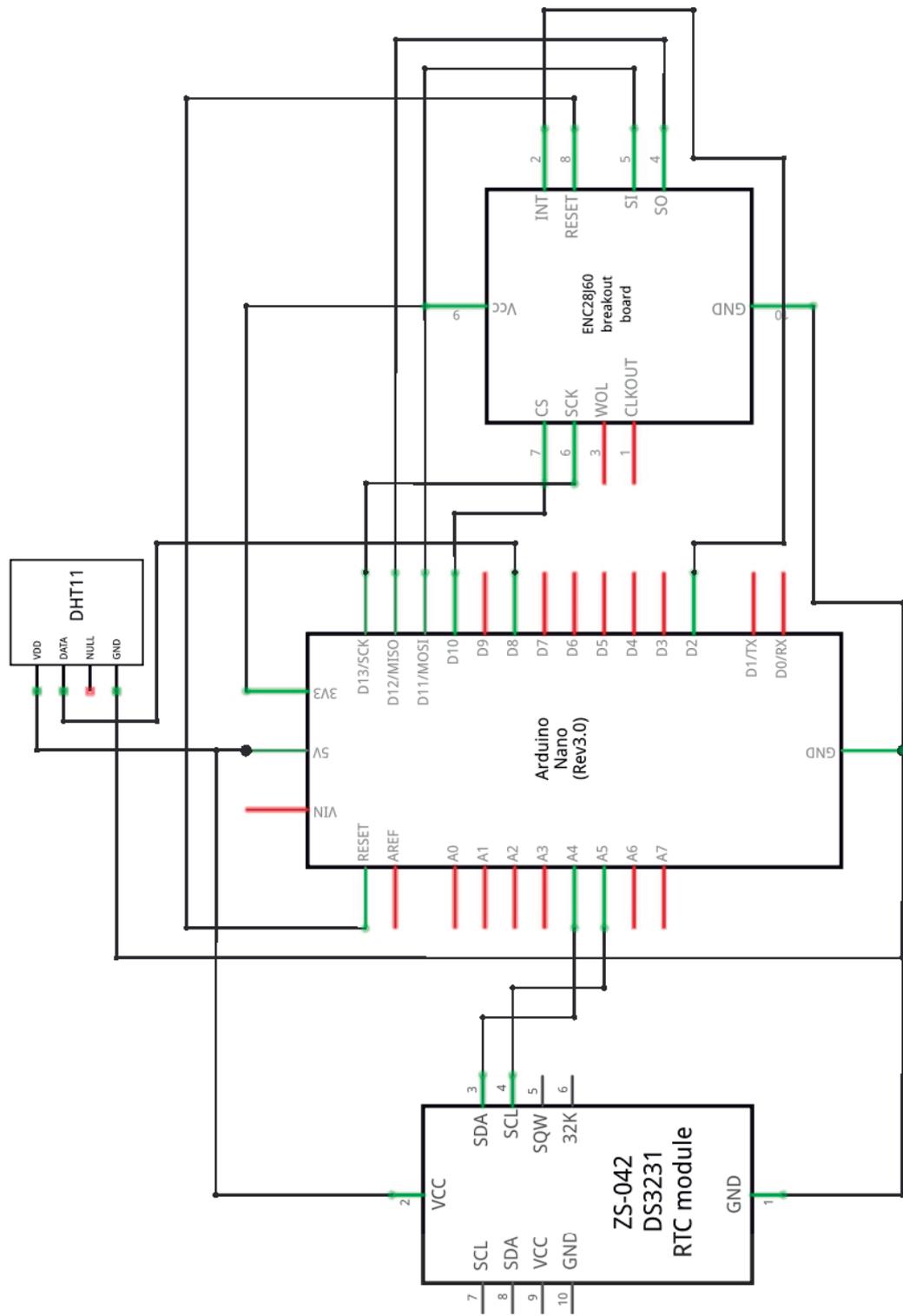
Figura 5.5: Diagrama de atividades do Sistema de Aquisição Automática de Dados

5.2 Resultados alcançados

Através das métricas estabelecidas e a lógica definida no framework, desenvolvemos o protótipo de ADAS que nomeamos *UEFS Weather Station* (UEFSWS). Seu principal componente eletrônico é um Arduino Nano que gerencia sensor e comunicação. O sistema atualmente é construído com uma conexão Ethernet cabeada para uso em redes locais (LAN) usando a infraestrutura existente de construções próximas para se comunicar com o servidor através da Internet.

Os componentes da UEFSWS são os seguintes (diagrama do circuito na Figura 5.6):

- Arduino Nano com microcontrolador Atmel ATmega328P: controla toda a aplicação com o programa embarcado. Possui 32KB de memória flash, 2KB SRAM, operando a 16 MHz;



fritzing

Figura 5.6: Diagrama do circuito da UEFSWS

- Módulo relógio de tempo real (RTC) DS3231: este módulo é um RTC altamente acurado com interface I^2C integrada. Cada observação é enfileirada com informações de data e hora obtidas deste RTC, o qual é sincronizado inicialmente com o servidor executando SOS Util;
- Módulo de comunicação Ethernet ENC28J60: um adaptador de rede do tipo 10Base-T;
- Sensor DHT11: captura temperatura e umidade com sinal de saída digital calibrado. Mensura intervalos de temperatura de 0 a 50 °C e umidade relativa de 20 a 80%, com acurácia de ± 2 °C e $\pm 5\%$. A aquisição da umidade relativa é feita utilizando capacitância, apresentando um substrato cerâmico onde um fino filme de polímero é colocado entre dois eletrodos condutivos. O polímero absorve umidade fazendo variar a constante dielétrica proporcionalmente à umidade do ambiente ao redor. O efeito físico explorado na aquisição da temperatura do ar é da variação de resistência ao utilizar um termistor de coeficiente negativo de temperatura (NTC), ou seja, a resistência do material é inversa à temperatura [Aosong 2016a, Aosong 2016b];
- Suprimento de energia: foram utilizadas placas de carregadores de celular para prover suprimento de energia apropriado para o circuito, apresentando no geral entrada AC 100–240V, saída DC 5V 800mA (menos de 500mA não carregará os sistemas do módulo Ethernet).

Todos os componentes foram montados em uma caixa perfurada de 12cm x 12cm x 8cm para permitir o fluxo de ar, como na Figura 5.7, com um espelho de tomada fixado para entrada AC e abertura para um cabo de rede, mostrado na visualização da caixa fechada da Figura 5.8.

O código-fonte embarcado na UEFSWS¹ foi disponibilizado abertamente. O programa utiliza o paradigma orientado a objetos, escrito em C++, e implementa as camadas de percepção e rede do framework. As requisições com dados brutos geradas pela estação seguem o modelo do Quadro 5.1 onde *station-id* representa o identificador da estação na rede e os argumentos que se seguem são referentes à temperatura e umidade, além da data e hora do cálculo da média das amostras.

Quadro 5.1: Exemplo de requisição HTTP REST gerada pela UEFSWS

```

1 POST /52n-sos-util/api/v1/observation/station-id/30/50/2016-04-24T14
   :29:06 HTTP/1.1
2 HOST: server.com
3 User-Agent: arduino-ethernet
4 Connection: close

```

¹Disponível em <https://github.com/natanaelsimoes/UefsWS>.

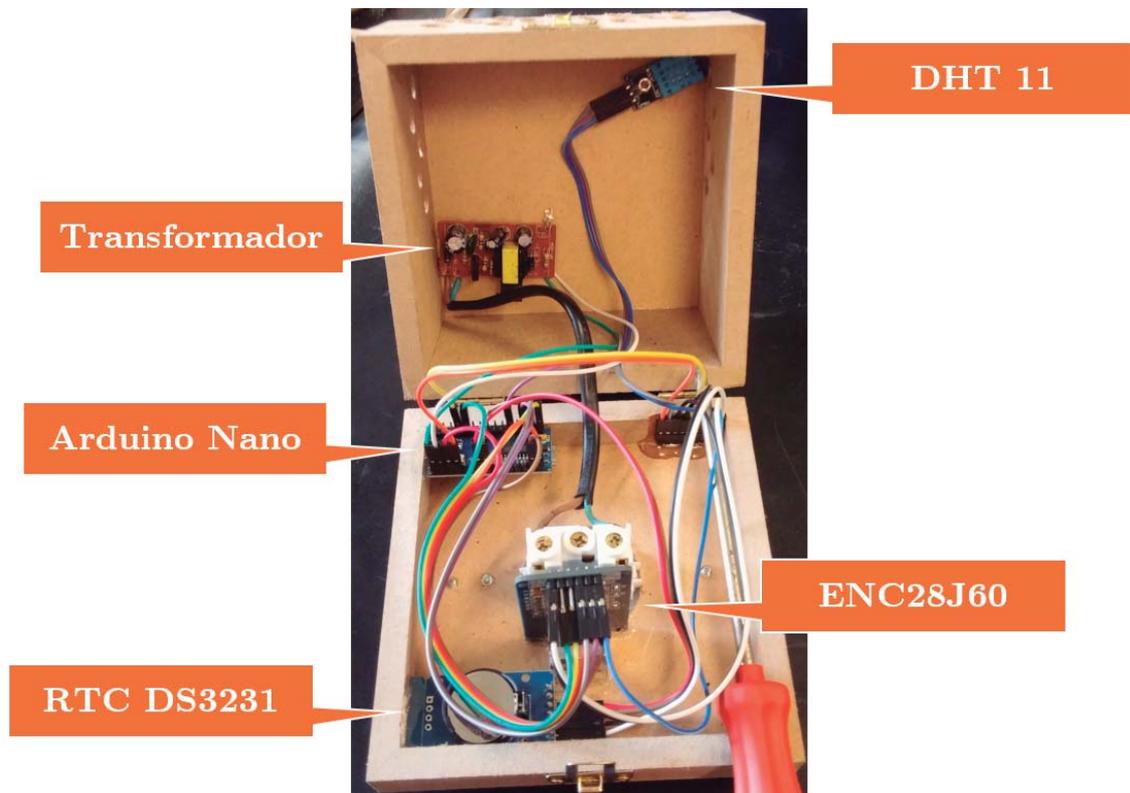


Figura 5.7: Componentes da UEFSWS montados em uma caixa ventilada

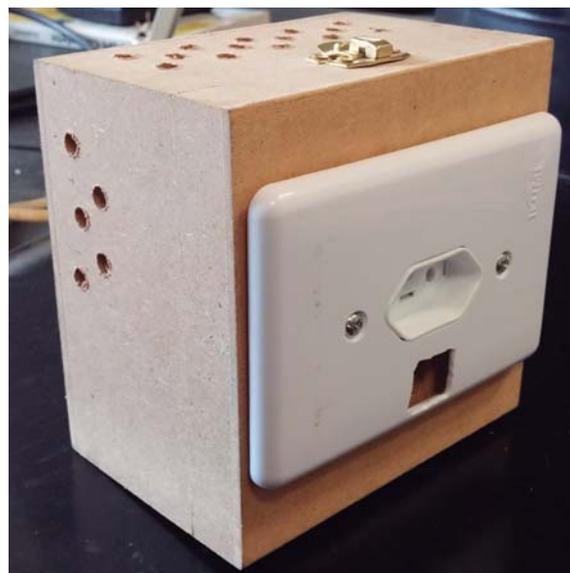


Figura 5.8: Caixa ventilada com entrada para AC e cabo de rede

A camada de middleware também foi desenvolvida, onde o código-fonte da aplicação² encontra-se da mesma forma disponível publicamente. Trata-se de um *web service* RESTful, escrito em Java, que recebe dados puros de temperatura e umidade, processa-os criando um documento SOS válido, envia a requisição gerada para a camada de aplicação e então encaminha a resposta recebida de volta para a estação. Processar os dados do exemplo de requisição do Quadro 5.1 geraria o documento SOS do Quadro 5.2 para realizar a inclusão de uma nova observação (as partes em negrito são variáveis de acordo com a requisição). Metadados das estações são incluídos no próprio middleware através de um arquivo de configuração onde são informados o identificador de cada estação na rede, assim como nome, descrição e coordenadas geográficas.

²Disponível em <https://github.com/natanaelsimoes/52n-sos-util/>

Quadro 5.2: Exemplo de documento SOS válido para a inclusão de uma observação

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <env:Envelope
3   xmlns:env="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope"
4   xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
5   xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope
6     http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope/soap-envelope.xsd">
7   <env:Body>
8     <sos:InsertObservation
9       xmlns:sos="http://www.opengis.net/sos/2.0"
10      xmlns:swes="http://www.opengis.net/swes/2.0"
11      xmlns:swe="http://www.opengis.net/swe/2.0"
12      xmlns:sml="http://www.opengis.net/sensorML/1.0.1"
13      xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml/3.2"
14      xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
15      xmlns:om="http://www.opengis.net/om/2.0"
16      xmlns:sams="http://www.opengis.net/samplingSpatial/2.0"
17      xmlns:sf="http://www.opengis.net/sampling/2.0" service="SOS" version="2.0.0"
18      xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sos/2.0
19        http://schemas.opengis.net/sos/2.0/sos.xsd
20        http://www.opengis.net/samplingSpatial/2.0
21        http://schemas.opengis.net/samplingSpatial/2.0/spatialSamplingFeature.xsd">
22       <sos:offering>Temperatura</sos:offering>
23       <sos:offering>Umidade</sos:offering>
24       <sos:observation>
25         <om:OM_Observation gml:id="o1">
26           <om:type xlink:href="http://www.opengis.net/def/observationType/OGC-OM/2.0/
27             OM_Measurement"/>
28           <om:phenomenonTime>
29             <gml:TimeInstant gml:id="phenomenonTimeTemp">
30               <gml:timePosition>2016-04-24T14:29:06.000-03:00</gml:timePosition>
31             </gml:TimeInstant>
32           </om:phenomenonTime>
33           <om:resultTime xlink:href="#phenomenonTimeTemp"/>
34           <om:procedure xlink:href="station-id"/>
35           <om:observedProperty xlink:href="Temperatura"/>
36           <om:featureOfInterest>
37             <sams:SF_SpatialSamplingFeature gml:id="station-id-ssf">
38               <gml:identifier codeSpace="">station-id-feature</gml:identifier>
39               <gml:name>station-id</gml:name>
40               <sf:sampledFeature xlink:href="station-id-1"/>
41               <sams:shape>
42                 <gml:Point gml:id="station-id">
43                   <gml:pos srsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG
44                     /0/4326">-12.20681 -38.96924</gml:pos>
45                 </gml:Point>
46               </sams:shape>
47             </sams:SF_SpatialSamplingFeature>
48           </om:featureOfInterest>
49           <om:result xsi:type="gml:MeasureType" uom="Cel">30</om:result>
50         </om:OM_Observation>
51       </sos:observation>
52       <sos:observation>
53         <om:OM_Observation gml:id="o2">
54           <om:type xlink:href="http://www.opengis.net/def/observationType/OGC-OM/2.0/
55             OM_Measurement"/>
56           <om:phenomenonTime>
57             <gml:TimeInstant gml:id="phenomenonTimeHum">
58               <gml:timePosition>2016-04-24T14:29:06.000-03:00</gml:timePosition>
59             </gml:TimeInstant>
60           </om:phenomenonTime>
61           <om:resultTime xlink:href="#phenomenonTimeHum"/>
62           <om:procedure xlink:href="station-id"/>
63           <om:observedProperty xlink:href="Umidade"/>
64           <om:featureOfInterest>
65             <sams:SF_SpatialSamplingFeature gml:id="station-id-ssf">
66               <gml:identifier codeSpace="">station-id-feature</gml:identifier>
67               <gml:name>station-id</gml:name>
68               <sf:sampledFeature xlink:href="station-id-1"/>
69               <sams:shape>
70                 <gml:Point gml:id="station-id">
71                   <gml:pos srsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG
72                     /0/4326">-12.20681 -38.96924</gml:pos>
73                 </gml:Point>
74               </sams:shape>
75             </sams:SF_SpatialSamplingFeature>
76           </om:featureOfInterest>
77           <om:result xsi:type="gml:MeasureType" uom="%">50</om:result>
78         </om:OM_Observation>
79       </sos:observation>
80     </sos:InsertObservation>
81   </env:Body>
82 </env:Envelope>

```

Capítulo 6

Conclusões e sugestões

Por meio desta pesquisa objetivamos identificar e classificar Zonas de Clima Local em sítios urbanos de Feira de Santana e propor uma infraestrutura de sensoriamento em escala local. Seleccionamos trinta e cinco pontos distribuídos pela cidade e aplicamos o método LCZ de Stewart e Oke para eleger classificações que melhor representassem a realidade de cada sítio referente à geometria das construções e tipo de superfície. Também propomos um framework para habilitação de instrumentação eletrônica na meteorologia urbana cobrindo sensoriamento, processamento e visualização de dados geoespacializados. Através das métricas estabelecidas, montamos um protótipo para aquisição automática de dados baseado em Internet das Coisas para monitoramento de temperatura do ar e umidade relativa.

Analisando as descrições dos sítios estudados neste trabalho, percebemos algumas características que compõem a cidade de Feira de Santana de forma geral. O material mais comumente utilizado nas estruturas de construções é alvenaria (concreto e tijolos). É um município moderadamente arborizado, sendo que nos sítios mais externos há predominância abundante de vegetação xerófila – a caatinga semiárida – e ocorrência de matas tropicais. Quanto mais próximo do centro, a quantidade e variedade de vegetação vai diminuindo consideravelmente devido a ocupação humana. As superfícies impermeáveis são de cobertura asfáltica nos sítios centrais e ruas principais dos demais sítios; as outras ruas são cobertas por blocos de pedra. Em sítios com características rurais, ou que fazem limite com zonas rurais, predomina o chão batido como superfície permeável.

Através das descrições e classificações realizadas, podemos afirmar também que em Feira de Santana os locais com maior desenvolvimento urbano são os mesmo com maior avanço comercial e atividade humana intensa, sendo estes locais os sítios Centro, Cruzeiro, Muchila I e Olhos d'água.

Observando a Figura 6.1 quanto à proporção entre as Zonas de Clima Local elegidas, podemos dizer que a classe que melhor representa Feira de Santana é a compacta de baixa elevação (LCZ 3) avaliada em 40% dos locais estudados. Além disso a

disposição espacial das zonas com esta classificação é bem homogênea no sentido de proximidade e adjacências, com apenas um caso em que o sítio Limoeiro não compartilha seus limites com outra LCZ 3.

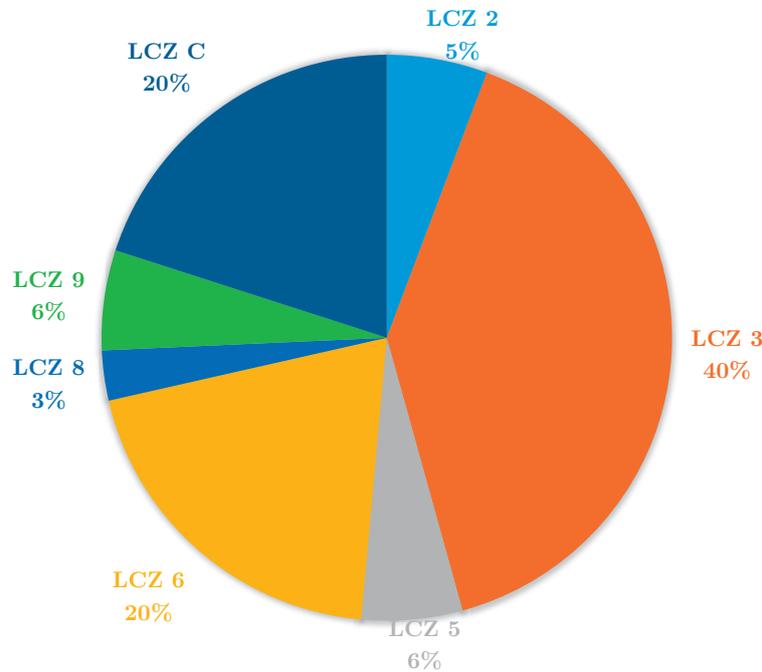


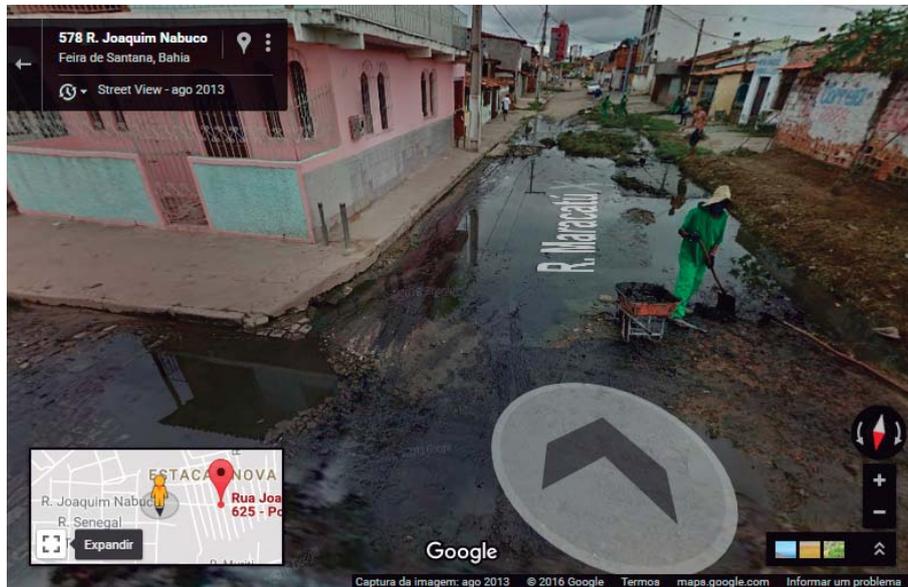
Figura 6.1: Gráfico de proporção de Zonas de Clima Local de Feira de Santana

Também é possível verificar que a cidade se desenvolve a partir do centro, de dentro para fora, tendo ali as classes compacto e aberto de média elevação (LCZ 2 e 5) e então se dispersando até os limites da cidade com compacto e aberto de baixa elevação (LCZ 3 e 6), respectivamente nesta ordem, e finalmente arbusto, relva (LCZ C) circundando o município.

Além da investigação necessária para desenvolver o método de classificação LCZ, queremos deixar aqui registrados problemas de saneamento básico que são claramente observados na falta de esgotos e escoamento de água. A região central da cidade é bem organizada nesse sentido, porém quanto mais se afasta do centro, mais precária fica a situação. O caso mais crítico que encontramos foi em Lagoa Grande onde, durante as medições de coleta de metadados, a relação de temperatura do ar e umidade relativa produziram índice de calor de 41,24°C. Pelos parâmetros da Administração Atmosférica e Oceânica Nacional (NOAA) dos Estados Unidos, este valor indica um alto desconforto térmico, além de perigo iminente à saúde das pessoas presentes no sítio, as quais podem apresentar exaustão por calor ou insolação – situações que podem inclusive levar à morte.

Outra preocupação com Lagoa Grande são as poças de água presentes em diversas partes do sítio que jamais secam, como mostra a Figura 6.2. Ao contrário, elas se alastram por boa parte das quadras a ponto de desenvolver pequenas plantas que

servem de obstáculo para pedestres e veículos. As pequenas porções de água ao longo do meio-fio em diversos pontos também podem gerar sérios problemas se as águas permanecerem paradas por um período longo o bastante para a proliferação de vírus como Dengue, Chikungunya e Zika.



(a)



(b)

Figura 6.2: Poças de água no encontro das ruas Joaquim Nabuco e Maracatú em Feira de Santana em (a) agosto de 2013 e (b) abril de 2016

Neste trabalho também propomos um framework seguindo os fundamentos de IoT habilitando a aquisição automática de dados meteorológicos. Na literatura não há registro de concepção semelhante, sendo esta a primeira proposta registrada

de framework IoT para espacialização de dados meteorológicos. Quanto a isto, pudemos ir além da proposta ao desenvolver um protótipo que segue as regras e funções estabelecidas no framework.

Das camadas apresentadas, apenas a implementação da Camada de Aplicação, responsável por armazenar e recuperar dados, já havia sido implementada em 52°North SOS. As estações de coleta foram originalmente desenvolvidas por nós seguindo as diretrizes da WMO e Oke, e alcançamos uma construção de baixo custo utilizando hardware aberto, amplamente utilizado nos projetos de automação da atualidade. O poder de processamento desse tipo hardware ainda não permite o desenvolvimento de aplicações IoT como requerido pelo SWE por causa da quantidade e tamanho dos documentos XML que o dispositivo precisa enviar e receber. A Camada de Middleware foi uma peça chave, pois permitiu o processamento dos dados coletados em requisições SWE válidas omitindo do dispositivo detalhes sobre este protocolo.

6.1 Aplicações

Existe uma diversidade de campos da pesquisa que lidam com meteorologia urbana e podem utilizar as classes de Zona de Clima Local aqui presentes e o framework proposto. As áreas apresentadas nesta seção que se beneficiam apenas da classificação LCZ serão restritas a Feira de Santana onde o estudo foi realizado, porém o framework pode ser utilizado em qualquer lugar, sem restrição geográfica, sendo aproveitável globalmente. A seguir enfatizamos alguns setores acadêmicos e comerciais, e exemplos de como o conhecimento aqui gerado pode ser aplicado em cada um.

A classificação dos sítios promove descrições formais e um conjunto de observações que, quando analisados, permitem uma melhor compreensão do comportamento climático em determinadas regiões da cidade. Desta forma, através da aplicação das técnicas de *Climatologia* e *Hidrologia* usando as classes LCZ elegidas neste trabalho, será possível realizar um acompanhamento em Feira de Santana e perceber não apenas como um sítio reage aos eventos climáticos, mas também descobrir como ele influencia na atmosfera urbana.

Entretanto, para que isto seja verdade, além de classificar também será preciso realizar monitoramento de diferentes classes LCZ, e assim identificar locais com problemas de calor e sugerir melhorias para mitigá-los como a construção de áreas verdes, fontes públicas de água, redes de esgoto, sistema de drenagem de águas pluviais e outras mais. A partir desse novo conhecimento sobre os sítios, o *Planejamento Urbano* será melhorado, pois as decisões tomadas passarão a ser contextualizadas.

Ao obter esta infraestrutura funcional de monitoramento climático, a *Engenharia Ambiental* poderá utilizar os dados coletados para medir os impactos ambientais de construções pesadas e leves em um sítio e seus arredores.

Alguns setores comerciais como *Turismo* e *Imobiliário* podem utilizar a classificação para sugerir a seus clientes localidades de visitação ou moradia baseados no perfil desejado.

Outras aplica es importantes envolvem a *Saúde* dos cidadãos. O calor excessivo pode causar graves danos   saúde, levando inclusive   morte em certos casos. Por isso o cuidado com o clima local   essencial para o atual contexto climático no mundo. Para monitorar o calor são utilizadas temperatura e umidade para calcular o  ndice de calor determinando a periculosidade do calor no ambiente   saúde humana. Tendo conhecimento da situa o do sítio, alertas podem ser emitidos informando   popula o daquele lugar de práticas viáveis para se manter saudável nas condi es atuais na região.

Os mesmos parâmetros são utilizados em estudos de *Conforto Térmico* para determinar o quanto um ambiente está adequado para manter a neutralidade térmica do corpo humano. A falta de conforto nos locais de atividade humana tem o poder de influenciar as emo es e decisões, sendo esta uma oportunidade para a *Psicologia* correlacionar os índices de calor com fatores mentais como o estresse.

Ainda sobre saúde,   fato que os vírus transmitidos através de artrópodes, como   o caso da dengue, tem se tornado uma das principais causas de morbidade e mortalidade no Brasil em regiões tropicais e subtropicais. Os períodos com maior incidência do vírus são aqueles em que há aumento de temperatura, umidade relativa e níveis de chuva, por ser um cenário que favorece o aparecimento de criadouros. Portanto, a *Epidemiologia* pode utilizar os dados coletados para identificar focos em potencial e adequar esses lugares para dificultar a prolifera o de mosquitos transmissores de doenças.

Relacionado   informática, aplica es de *Cidades Inteligentes* podem ser criadas visando melhoramento da gestão urbana e engajamento do cidadão, entregando a este uma informa o direcionada a seu local de habita o ou trabalho. Agindo desta forma, o munic pe terá maior no o de sua responsabilidade individual para alcançar um ambiente agradável. A partir do grande volume de dados gerados pela coleta e participa o da comunidade, têm tambm podem ser empregadas estratégias de *Big Data*.

6.2 Pesquisas Futuras

Feira de Santana   uma grande cidade baiana que continua se expandindo a cada ano, por isso sempre haverá necessidade de se realizar o quarto passo do método LCZ: a retroalimenta o. Isto quer dizer que a verifica o da necessidade de atualiza o das classes LCZ deve acompanhar o ritmo de crescimento da cidade, fazendo desta prática uma fonte de pesquisa acad mica regular e periódica.

Outra pesquisa possível   quanto ao conforto térmico em cada sítio, onde os índices de calor já coletados podem ser analisados para determinar se um sítio tem

condições adequadas para habitação e atividades humanas – como foi realizado superficialmente na supracitada Lagoa Grande.

No futuro pretendemos elevar a quantidade de parâmetros climáticos coletados para equiparar a uma estação meteorológica tradicional – termômetro, psicrômetro, pluviômetro e anemômetro – e ir além para contemplar o monitoramento de radiação solar – piranômetro. Além disso, almejamos que a estação seja autônoma energeticamente utilizando energia solar, e que seja adicionada a opção de comunicação sem fio nos padrões IEEE 802.11 e/ou 802.15.4.

Nesta versão do protótipo da estação tivemos de otimizar o software tanto quanto possível para poder realizar todas as atividades com quantidade limitada de memória. Quer dizer que a inclusão de novas tarefas com o hardware de controle atual é inviável. Por isso nas próximas versões deveremos trocar o microcontrolador utilizado por outros com maior capacidade de memória.

Continuaremos utilizando o método de classificação LCZ em outras cidades brasileiras, além de selecionar uma delas para instalar e coletar dados utilizando o framework proposto e validar sua eficiência na meteorologia urbana.

Com o aumento de tipos de dados coletados, será necessário melhorar o middleware para atender à nova demanda. Portanto, reescreveremos o projeto da Camada de Middleware do framework para atender a qualquer que seja a necessidade de coleta, ou seja, conceituá-lo como um provedor de serviço criando requisições personalizáveis para parâmetros climáticos específicos; diferentemente do que consta atualmente, em que todos os dados são enviados numa mesma requisição obrigatoriamente.

Também temos a intenção de criar um projeto paralelo baseado no 52°North SensorWeb JS Client para melhorar a usabilidade de visualização dos dados geoespacializados e entregar mais opções de obtenção dos dados brutos. Atualmente o projeto tem foco específico em prover uma interface amigável para usuários leigos, porém a única forma de obter os dados brutos é realizando requisições manualmente pela API do SOS, o que obriga os pesquisadores conhecerem o protocolo SWE. Por isso gostaríamos de adicionar uma forma do usuário criar consultas personalizadas e obter os dados necessários à sua pesquisa, tal como são as ferramentas de mineração de dados.

Referências Bibliográficas

- [52North 2016] 52°North (2016). Sos design documentation. <http://52north.org/communities/sensorweb/sos/design.html>. 24
- [Aosong 2016a] Aosong(Guangshou) Electronics Co., Ltd (2016a). Am2302. <http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>. 65
- [Aosong 2016b] Aosong(Guangshou) Electronics Co., Ltd (2016b). *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module AM2303*. Aosong(Guangshou) Electronics Co., Ltd. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf>. 65
- [Arnfield 2003] Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1):1–26. 27
- [Atzori et al. 2010] Atzori, L., Iera, A., e Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54:2787–2805. 12, 14, 15, 17
- [Auer 1978] Auer, A. H. (1978). Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5):636–643. 30
- [Câmara 2005] Câmara, G. (2005). *Representação Geográfica de dados geográficos*, chapter 1, pages 1–44. MundoGEO, Curitiba. 9, 11
- [Câmara et al. 1996] Câmara, G., Casanova, M. A., Hemerly, A. S., Magalhães, G. C., e Medeiros, C. M. B. (1996). *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Escola de Computação, SBC, 1 edition. 7, 11
- [Câmara et al. 2004] Câmara, G., Monteiro, A. M., Fucks, S. D., e Carvalho, M. S. (2004). *Análise Espacial de Dados Geográficos*, chapter Análise Espacial e Geoprocessamento. EMBRAPA, Brasília. 9
- [Chandler 1965] Chandler, T. J. (1965). *The Climate of London*. Hutchinson. 30
- [Chhabra 2013] Chhabra, N. (2013). Comparative analysis of different wireless technologies. *International Journal Of Scientific Research In Network Security & Communication*, 1(5):13–17. 13
- [de Melo et al. 2011] de Melo, C. B., Reis, R. B., Ko, A. I., Barreto, C. M. N., Lima, A. P., e Silva, A. M. D. (2011). Espacialização da leptospirose em aracaju,

- estado de sergipe, no período de 2001 a 2007. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 44(4):475–480. 6
- [Ellefsen 1991] Ellefsen, R. (1991). Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten us cities. *Energy and Buildings*. 30
- [Ferreira e Ferreira 2013] Ferreira, M. C. e Ferreira, M. M. (2013). Informações espaciais de cartas antigas visualizadas em imagens digitais atuais: Uma contribuição do sig à arqueologia da paisagem. *Revista do Departamento de Geografia*, 26:1–14. 10
- [Fonseca et al. 2015] Fonseca, W. L., lima Fonseca, W. J., de Oliveira, A. M., Vogado, G. M. S., Sousa, G. G. T. e., de Sousa Júnior, S. C., e Luz, C. S. M. (2015). Causas e consequências do êxodo rural no nordeste brasileiro. *Nucleus*, 12(1):233–240. 27
- [Guimarães et al. 2011] Guimarães, R. Z., Lingnau, C., Rizzi, N. E., Scheichi, R. G., e de Cassia Bianchi, R. (2011). Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do rio campinas, joinville sc. *Ra'e Ga*, (23). 6
- [Hossain et al. 2011] Hossain, J., Sinha, V., e Kishore, V. V. N. (2011). A gis based assessment of potential for windfarms in india. *Renewable Energy*, 36(12):3257–3267. 10
- [IBGE 2016a] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016a). Cidades@: Feira de santana. <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=291080>. 3
- [IBGE 2016b] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016b). Cidades@: Feira de santana, infográficos: evolução populacional e pirâmide etária. <http://goo.gl/i3phT8>. 3
- [IBGE 2016c] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016c). Estados@: Bahia. <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=ba>. 3
- [IBGE 2016d] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2016d). Projeção da população do brasil e das unidades da federação. <http://vamoscontar.ibge.gov.br/atividades/ensino-fundamental-6-ao-9/7764-linhas-imaginarias.html>. 3
- [INFSO 2008] INFSO (2008). Internet of things in 2020. online, European Technology Platform on Smart Systems Integration. v. 3, http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/Internet-of-Things_in_2020_EC-EPoSS_Workshop_Report_2008_v3.pdf. 15
- [INMET 2016a] Instituto Nacional de Meteorologia (2016a). Estação meteorológica de observação de superfície automática. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. 3

- [INMET 2016b] Instituto Nacional de Meteorologia (2016b). Estação meteorológica de observação de superfície convencional. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>. 3
- [INMET 2016c] Instituto Nacional de Meteorologia (2016c). Previsão do tempo. http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sm_previsao_tempo. 2
- [INPE 2002] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2002). *Banco de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <http://www.ltc.ufes.br/geomaticsee/Modulo%20Banco%20de%20Dados.pdf>. 9
- [Kamel Boulos et al. 2011] Kamel Boulos, M. N., Resch, B., Crowley, D. N., Breslin, J. G., Sohn, G., Burtner, R., Pike, W. a., Jezierski, E., e Chuang, K.-Y. (2011). Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management. *International Journal of Health Geographics*, 10(1):1–29. 18
- [Kanda 2007] Kanda, M. (2007). Progress in urban meteorology: A review. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 85B:363–383. 3, 27
- [Kljun et al. 2015] Kljun, N., Calanca, P., Rotach, M. W., e Schmid, H. P. (2015). A simple two-dimensional parameterisation for flux footprint prediction (ffp). *Geoscientific Model Development*, 8(11):3695–3713. 35, 36
- [Kormann e Meixner 2001] Kormann, R. e Meixner, F. X. (2001). An analytical footprint model for non-neutral stratification. *Boundary-Layer Meteorology*, 99(2):207–224. 35
- [Lee et al. 2007] Lee, J.-S., Su, Y.-W., e Shen, C.-C. (2007). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In *The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, pages 46–51, Taipei. IEEE. 13
- [Leite e Brito 2012] Leite, M. E. e Brito, J. L. S. (2012). Sensoriamento remoto e sig na identificação de áreas propensas à formação de favelas: O caso de montes claros (mg). *Boletim Goiano de Geografia*, 32(2):159–175. 10
- [Loridan e Grimmond 2012] Loridan, T. e Grimmond, C. S. B. (2012). Characterization of energy flux partitioning in urban environments: Links with surface seasonal properties. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(2):219–241. 30
- [Maric et al. 2015] Maric, I., Pucar, M., e Kovacevic, B. (2015). Reducing the impact of climate change by applying information technologies and measures for improving energy efficiency in urban planning. *Energy and Buildings*. 1
- [Neirotti et al. 2014] Neirotti, P., Marco, A. D., Cagliano, A. C., Mangano, G., e Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38:25–36. 2

- [OGC 2008] Open Geospatial Consortium (2008). Ogc sensor web enablement architecture. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=29405. 19
- [OGC 2011a] Open Geospatial Consortium (2011a). Observations and measurements - xml implementation. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=41510. 19
- [OGC 2011b] Open Geospatial Consortium (2011b). Ogc sensor planning service implementation standard. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=38478. 20
- [OGC 2011c] Open Geospatial Consortium (2011c). Ogc swe common data model encoding standard. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=41157. 20
- [OGC 2011d] Open Geospatial Consortium (2011d). Opengis swe service model implementation standard. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=38476. 20
- [OGC 2012a] Open Geospatial Consortium (2012a). Ogc puck protocol standard version 1.4. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47604. 20
- [OGC 2012b] Open Geospatial Consortium (2012b). Ogc sensor observation service interface standard. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47599. 20, 21, 24
- [OGC 2014] Open Geospatial Consortium (2014). Ogc sensorml: Model and xml encoding standard. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=55939. 19
- [OGC 2015] Open Geospatial Consortium (2015). Ogc kml 2.3. <https://portal.opengeospatial.org/files/12-007r2>. 44
- [OGC 2016a] Open Geospatial Consortium (2016a). Sensor web enablement software. http://www.ogcnetwork.net/swe_software. 22
- [OGC 2016b] Open Geospatial Consortium (2016b). Sensor web enablement (swe). <http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe>. 18
- [Oke 2004] Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Technical Report 81, World Meteorological Organization. <http://www.geog.ubc.ca/~toke/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>. 30, 57
- [Oke 2006] Oke, T. R. (2006). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Technical Report 81, World Meteorological Organization. <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-81/IOM-81-UrbanMetObs.pdf>. 27, 28, 29, 57, 60

- [ONU 2015] Organização das Nações Unidas (2015). Adoption of the paris agreement. In *Conference of the Parties, Twenty-first session, L. 9, Rev. 1*, Paris. Organização das Nações Unidas, Framework Convention on Climate Change. 1
- [Otten 2012] Otten, G. V. (2012). Why geography should matter to intelligence professionals. *Military Intelligence Professional Bulletin*, 38(2):33–39. 7
- [Queiroz et al. 2004] Queiroz, C. M. B., de Castro Sá, E. N., e Assis, M. M. A. (2004). Qualidade de vida e políticas públicas no município de feira de santana. *Ciência & Saúde Coletiva*, 9(2):411–421. 3
- [Rodrigues 1990] Rodrigues, M. (1990). Introdução ao geoprocessamento. In *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*, pages 1–26. Universidade de São Paulo. 9
- [Santos e de Araújo Romão 2010] Santos, K. R. D. e de Araújo Romão, P. (2010). Espacialização de inundações em goiânia (go) (2004-2007). *Boletim Goiano de Geografia*, 30(2):81–97. 6
- [Seppa 2012] Seppa, H. (2012). The future of sensor networks. *VTT impulse*, 2:20–27. 12, 14
- [Singal 2010] Singal, T. L. (2010). *Wireless Communication*. Tata McGraw Hill, New Delhi. 14
- [Socolofsky e Kale 1991] Socolofsky, T. e Kale, C. (1991). A tcp/ip tutorial. online, Network Working Group. RFC 1180, <https://tools.ietf.org/html/rfc1180>. 12
- [Sogachev e Lloyd 2004] Sogachev, A. e Lloyd, J. (2004). Using a one-and-a-half order closure model of the atmospheric boundary layer for surface flux footprint estimation. *Boundary-Layer Meteorology*, 112(3):467–502. 35
- [Steinfeld et al. 2008] Steinfeld, G., Raasch, S., e Markkanen, T. (2008). Footprints in homogeneously and heterogeneously driven boundary layers derived from a lagrangian stochastic particle model embedded into large-eddy simulation. *Boundary-Layer Meteorology*, 129(2):225–248. 35
- [Stewart e Oke 2012] Stewart, I. D. e Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *American Meteorology Society*, pages 1879–1900. 30, 31, 32, 33, 34, 37, 93, 94, 95
- [Vilela et al. 2010] Vilela, F. V., Rafull, L. Z. L., de Queiroz, D. M., Bottega, E. L., e de Souza, C. M. A. (2010). Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semimecanizada. *Acta Scientiarum: Agronomy*, 32(2):201–208. 6
- [WMO 1996] World Meteorological Organization (1996). Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8. 28
- [WMO 2012] World Meteorological Organization (2012). Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8, http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf. 61

-
- [Yick et al. 2008] Yick, J., Mukherjee, B., e Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12):2292–2330. 12

Apêndice A

Compilação e Implementação do 52° North SOS 4.x

A seguir apresentamos todos os possíveis métodos para realizar a instalação de uma instância do serviço 52° North SOS na versão 4 em um servidor de aplicação.

Antes de iniciar, caso não seja executado o método automático de instalação, os softwares listados na Tabela A.1 têm de ser baixados e instalados como requerimento. Uma vez concluído, a instalação do serviço pode prosseguir ao implantar o arquivo WAR previamente compilado ou construindo-o a partir do fonte.

Tabela A.1: Requerimentos para instalação do 52°North SOS

Requirimento	Tecnologias suportadas
Java	– Oracle JRE 7 – Oracle JDK 7 ou acima ^a
Apache Maven	Maven 3 ou acima ^a
Servidor de Aplicação	– Apache Tomcat 6 ou acima ^{bcd} – Jetty 6 ou acima – Glassfish 3 ou acima
DBMS	– PostgreSQL 9 ou acima com pgAdmin3 ^e e a extensão PostGIS 2 ou acima – Oracle 9 ou acima – MySQL 5.6/Community Edition ou acima ^f – Microsoft SQL Server 2012
Armazenamento	578 bytes para cada observação

^a JDK e Maven são necessários para construir SOS a partir do fonte.

^b Não use Tomcat nas versões 8.0.8, 7.0.54 e 6.0.41 por causa de um bug conhecido que resulta em falha na instalação.

^c Uso de Tomcat 6 ou acima é obrigatório para integrar com Oracle.

^d Uso de Tomcat 7 ou acima é obrigatório para integrar com Microsoft SQL Server.

^e pgAdmin3 pode ser utilizado em servidores com interface gráfica.

^f MySQL funcionará com esta aplicação apenas se construída a partir do fonte.

A.1 Obtendo o arquivo WAR de distribuição

Um pacote compactado contendo uma distribuição binária do SOS pode ser baixado no site do 52°North¹, apresentando uma lista apenas com as versões estáveis. Os pacotes mais recentes vêm em duas versões: normal e *bundle*. A versão *bundle* possui adicionalmente um serviço de requisições RESTful API e um cliente HTML5 para visualização de dados espaciais.

Ao extrair o pacote em determinada pasta, o arquivo WAR estará localizado em `./bin/52n-sos-webapp/target`. Este arquivo tem como propósito ser implantado diretamente no servidor de aplicação. Entretanto, antes da implantação, algumas configurações adicionais devem ser feitas como explicado na subseção A.5.

A.2 Compilando a partir do código-fonte

Para construir a aplicação é necessário obter o fonte de seu repositório usando Git² e iniciar o processo de construção como mostramos no Quadro A.1. O repositório também pode ser obtido diretamente em seu sítio³ e então descompactado onde necessário. Depois que todo o processo for encerrado, o arquivo binário estará disponível em `./SOS/webapp[-bundle]/target/52n-sos-webapp.war` pronto para ser implantado em um servidor de aplicação. Há mais configurações na subseção A.5 que são necessárias para inicializar o serviço.

Quadro A.1: Clonagem do repositório 52°North SOS e construções da aplicação

```
1 $ git clone https://github.com/52North/SOS/  
2 $ cd SOS  
3 $ mvn package
```

Bancos de dados Oracle e Microsoft SQL Server requerem dependências que não são distribuídas livremente e precisam ser baixadas e instaladas manualmente a partir de seus próprios repositórios.

A.2.1 Configurações para Oracle

Os drivers JDBC do Oracle 11g⁴ precisam ser baixados e instalados no local do repositório SOS. O código do Quadro A.2 apresenta como instalar o driver e construir

¹Disponível em <http://52north.org/downloads/category/3-sos>.

²Disponível em <https://git-scm.com/>

³Disponível em <https://github.com/52North/SOS/>.

⁴Disponível em <http://www.oracle.com/technetwork/database/enterprise-edition/jdbc-112010-090769.html>

o SOS usando parâmetros de configuração para ativar integração com Oracle. Uma cópia do arquivo *ojdbc6.jar* que foi baixado precisa estar na pasta raiz do repositório SOS para que o comando funcione apropriadamente.

Quadro A.2: Construção do 52°North SOS com parâmetros de integração com Oracle 11g

```
1 $ mvn install:install-file -Dfile=ojdbc6.jar -DgroupId=com.oracle
   -DartifactId=ojdbc6 -Dversion=11.2.0 -Dpackaging=jar
2 $ mvn package -P oracle
```

Testes relacionados com conectividade ao banco de dados durante a instalação requerem um banco de dados Oracle existente. Os parâmetros de conexão são configurados em um arquivo de propriedades Java que tem seu caminho determinado ao atribuir um valor à variável de ambiente `SOS_TEST_CONF`. Este arquivo precisa conter as seguintes chaves (exemplo no Quadro A.3):

- `oracle_host`: Endereço do servidor Oracle;
- `oracle_port`: Porta do serviço Oracle;
- `oracle_user`: Usuário Oracle. Precisa ter permissões para criar e usar tabelas e sequências;
- `oracle_pass`: Senha do usuário Oracle do item anterior;
- `oracle_user_no_rights`: Usuário Oracle. **Não deve** ter permissões para criar tabelas e sequências;
- `oracle_pass_no_rights`: Senha do usuário Oracle do item anterior.

Quadro A.3: Exemplo de arquivo de configuração para integração do 52°North SOS com Oracle

```
1 oracle_host=localhost
2 oracle_port=1521
3 oracle_user=oracle
4 oracle_pass=oracle
5 oracle_user_no_rights=sos_test_no_rights
6 oracle_pass_no_rights=sos
```

A.2.2 Configurações para Microsoft SQL Server

Assim como Oracle, os drivers JDBC para Microsoft SQL Server⁵ também precisam ser baixados e instalados no repositório local SOS. Os parâmetros de configuração

⁵Disponível em <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?displaylang=en&id=11774>

para construção da aplicação integrada a este banco de dados pode ser vistos no Quadro A.4. Uma cópia do arquivo *sqljdbc4.jar* baixado precisa estar na pasta raiz do repositório SOS para que aquele comando execute corretamente.

Quadro A.4: Construção do 52°North SOS com parâmetros de integração com Microsoft SQL Server

```
1 $ mvn install:install-file -Dfile=sqljdbc4.jar
   -DgroupId=com.microsoft -DartifactId=sqljdbc4 -Dversion=4.0
   -Dpackaging=jar
2 $ mvn package -P sqlserver
```

A.3 Compilando uma instância previamente configurada

Esta se mostrou a forma manual mais segura de fazer o serviço funcionar, pois o fonte será construído na mesma máquina em que será implantado e a conexão com o banco de dados configurada previamente antes da compilação. Os passos a seguir demonstrarão o procedimento com PostgreSQL.

A primeira ação a tomar é criar uma base de dados no SGBD escolhido. Em PostgreSQL, o uso da extensão PostGIS é obrigatório (Quadro A.5).

Quadro A.5: Criação de uma bases de dados PostgreSQL com suporte à extensão PostGIS

```
1 $ sudo -u postgres createdb sos2
2 $ sudo -u postgres psql sos2 -c "CREATE EXTENSION postgis;"
```

No repositório SOS há alguns modelos de arquivos de conexão usados para configurar uma ligação com o banco de dados, localizado em *SOS/misc/conf*. Todos os arquivos modelo contêm o nome de um SGBD. O arquivo apropriado deve ser duplicado renomeando-lhe para *datasource.properties*, conforme o Quadro A.6, dentro daquela mesma pasta e então usar qualquer editor de texto para alterar os parâmetros de configuração se necessário. O Quadro A.7 exhibe o modelo padrão do arquivo de conexão para PostgreSQL.

Quadro A.6: Preparação para edição do arquivo de conexão com o banco de dados

```
1 $ cp datasource.properties.postgres.template.seriesConcept
   datasource.properties
2 $ nano datasource.properties
```

Quadro A.7: Propriedades padrão do arquivo de conexão do PostgreSQL

```

1 hibernate.connection.username=postgres
2 hibernate.connection.password=postgres
3 hibernate.connection.url=jdbc\:postgresql\://localhost\:5432/sos2

```

Ao finalizar a configuração, o projeto deverá ser compilado usando os parâmetros explanados no Quadro A.8. Depois disto, o arquivo binário pré-configurado estará disponível em `webapp[-bundle]/target/52n-sos-webapp.war` pronto para a implantação.

Quadro A.8: Construção do 52°North SOS com conexão ao banco de dados previamente configurada

```

1 $ mvn package -Pconfigure-datasource,use-default-settings

```

A.4 Compilação/Implantação automática

Por conta da complexidade de todo o procedimento de compilação e implantação, que é o padrão utilizado pela 52°North, criamos um *bash script*⁶ para auxiliar com a automação de todo o processo de instalação. Para uso deste programa é requerido o gerenciador de pacotes Apt⁷, utilizado na base de Debian, uma distribuição popular de Linux. Em nossos testes, usamos a distribuição Ubuntu Server 14.04, um projeto paralelo baseado em Debian. Ao entrar com o código do Quadro A.9 em um terminal, o processo de instalação é iniciado. Durante a execução, o instalador de Oracle JDK 7 solicitará um aceite de acordo, sendo este o único momento da instalação que demandará intervenção do usuário. Ao findar será exibido o link para acessar o painel administrativo do serviço.

Quadro A.9: Obtenção do script 52north-sos.sh, disponibilização do script localmente e início da instalação automatizada do 52°North SOS

```

1 $ wget https://raw.githubusercontent.com/natanaelsimoes/52north-sos-
   sh/master/52north-sos.sh
2 $ sudo su root
3 { Entrar com a senha de administrador }
4 # chmod a+x 52north-sos.sh
5 # mv 52north-sos.sh /usr/local/bin/52north-sos
6 # 52north -i

```

⁶Disponível em <https://github.com/natanaelsimoes/52north-sos-sh>

⁷Ver documentação em <https://www.debian.org/doc/manuals/apt-howto/>

Este *script* adiciona repositórios onde estão os pacotes necessários à instalação do SOS, instala-os, configura o banco de dados, e então baixa e constrói 52°North SOS (versão *bundle*) a partir do fonte usando o método da instância pré-configurada. Os pacotes mais importantes instalados são:

- **git**: usado para clonar repositórios e controlar versionamento;
- **xml-twig-tools**: usado para obter informação dentro dos arquivos de configuração XML;
- **maven**: configura a aplicação, roda testes e constrói o binário WAR para implantação;
- **oracle-java7-installer**: instala Oracle JDK 7 oficial;
- **tomcat7**: o servidor de aplicação Java;
- **postgresql-9.4-postgis-2.1**: banco de dados com capacidades geoespaciais.

No Tomcat 7, usuário e senha padrão serão ambos *uefs*, do banco de dados PostgreSQL 9.4 serão ambos *postgres*, e do painel administrativo do SOS o usuário será *admin* com a senha *password*. As demais opções de parâmetros que são úteis no script e seus efeitos são mostrados no Quadro A.10.

Quadro A.10: Todos os comando aceitos por 52north-sos.sh

```
1 # 52north-sos -h
2
3 52north-sos ver. 1.0
4 Install and manage 52North SOS
5
6 Usage: 52north-sos [-h|--help] [-i|--install] [-t|--host host]
7           [-u|--update] [-s|--self-update]
8
9 Options:
10 -h, --help           Display this help message and exit.
11 -i, --install        Install 52North SOS for the first time.
12 -t, --host host      Set the specified argument as the host
13                      (to configure jsClient API provider).
14                      Will use eth0 address as default if not set.
15                      Where 'host' is the IP address or network name.
16 -u, --update         Update 52North SOS if a new version is available
17 -s, --self-update    Self-update this script is a new version is
18                      available
19
20 NOTE: You must be the superuser to run this script.
```

A.5 Configuração do ambiente

Se a construção tiver sido realizada pelo método de compilação/implantação automática, nenhuma outra configuração será necessária senão da própria aplicação SOS. Tudo deve estar rodando corretamente neste ponto.

Nos demais casos, o arquivo WAR baixado ou compilado apenas precisa ser implantado diretamente em um servidor de aplicação.

De qualquer maneira, seja pelo método de implantar um arquivo WAR distribuído ou construído a partir do fonte, ambos requerem um pouco mais de atenção. Em quaisquer casos discutidos a seguir, ao entrar pela primeira vez na aplicação serão solicitados os parâmetros de conexão com o banco de dados. Por isso é importante manter anotada cada configuração realizada em cada etapa.

A.5.1 Configuração do banco de dados PostgreSQL

Para usar SOS com PostgreSQL, basta criar uma nova base de dados com suporte ao PostGIS (se não estiver atualizando a aplicação) como foi mostrado no Quadro A.5, e então prosseguir para a implantação.

A.5.2 Configuração do banco de dados Oracle

Assumindo que há uma instância de Oracle 11g rodando e acessível pela rede, resta criar um usuário que possa se conectar, criar tabelas e sequência, e tenha tamanho de tabela e quota ilimitados. Para fazer isto, use o código do Quadro A.11.

Quadro A.11: Comando SQLPlus para criar um usuário para uso com 52°North SOS

```
1 > create user sos identified by *password*;  
2 > alter user sos identified by *password* quota unlimited on users;  
3 > grant connect, create table, create sequence to sos;  
4 > grant unlimited tablespace to sos;
```

52°North recomenda o uso do Driver OCI⁸ para Oracle em ambientes de produção devido sua performance superior aos demais. Após a instalação do *driver*, Tomcat deve ter acesso a ele ao atribuir a localização da pasta em que o *driver* foi instalado na variável de ambiente LD_LIBRARY_PATH (Unix) ou PATH (Windows). O arquivo *ojdbc6.jar* baixado também precisa estar disponível na biblioteca do Tomcat ao copiá-lo para *PASTA_TOMCAT/lib* ou criando um link simbólico nesta pasta.

⁸Disponível em <http://www.oracle.com/technetwork/database/features/instant-client/index-097480.html>

Quando os arquivos estiverem nos locais corretos e as variáveis de ambiente devidamente atribuídas, o arquivo WAR gerado ou baixado poderá ser implantado no Tomcat.

A.5.3 Configuração do banco de dados Microsoft SQL Server

Levando em consideração que há uma instância de Microsoft SQL Server 2012 executando e acessível pela rede, um usuário deve ser adicionado tendo permissões para criar novas bases e escrever nelas. Após a instalação de seu Driver JDBC⁹, Tomcat deve acessá-lo ao configurar seu local de instalação nas variáveis de ambiente `LD_LIBRARY_PATH` (Unix) or `PATH` (Windows). O arquivo `sqljdbc4.jar` baixado necessita constar na biblioteca do Tomcat, seja ao copiá-lo para `PASTA_TOMCAT/lib` ou criando um link simbólico nesta pasta.

Depois que os arquivos estiverem em seu devido lugar e as variáveis de ambiente atribuídas corretamente, o arquivo WAR gerado ou baixado poderá ser implantado no Tomcat.

A.6 Requerimentos de espaço para armazenamento

Observações realizadas no serviço apresentaram uso de 578 bytes para armazenar uma única observação por série temporal. No contexto de SOS, uma série temporal é um grupo de observações tendo em comum: recurso de interesse; procedimento ou sensor; propriedade observada ou observável; e tipo de observação. Os requerimentos de espaço total dependem da frequência de observação. A seguir apresentamos exemplos de uso do disco rígido ao variar a frequência de observações realizadas no período de um ano:

- Uma observação por minuto: $578\text{B} \times 60 \times 24 \times 365 = 303796800\text{B} \approx 290\text{MB}$
- Uma observação por hora: $578\text{B} \times 24 \times 365 = 5063280\text{B} \approx 5\text{MB}$
- Uma observação por dia: $578\text{B} \times 365 = 210970\text{B} \approx 0,2\text{MB}$

A.7 Executando a aplicação

Após o procedimento de instalação, SOS estará sendo executado a partir de um servidor de aplicação. Toda a configuração do serviço é feita através de um navegador

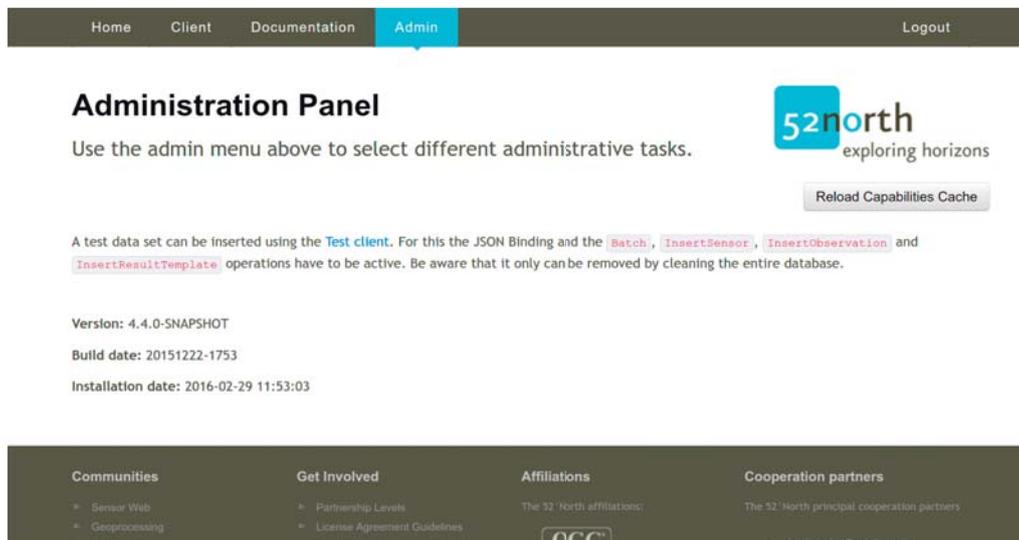
⁹Disponível em <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?displaylang=en&id=11774>

de Internet acessando um link como `http://server:8080/52n-sos-webapp/`.

A primeira página mostra informações sobre o projeto 52°North SOS, colaboradores e organizações financiadoras. Há um menu na parte superior referenciando esta página, um cliente de teste de recursos, um cliente de visualização (se a versão *bundle* foi instalada), vasta documentação (na Internet), documentação da API RESTful, e um painel administrativo.

Credenciais são necessárias para acessar a administração. Nome de usuário e senha padrão são *admin* e *password* respectivamente. Após entrar no painel, a versão do serviço e informações sobre a instalação estarão visíveis como ilustrado na Figura A.1. Um link para carregar um conjunto de dados de testes também é provido nesta página.

Figura A.1: Página inicial do painel administrativo de 52°North SOS



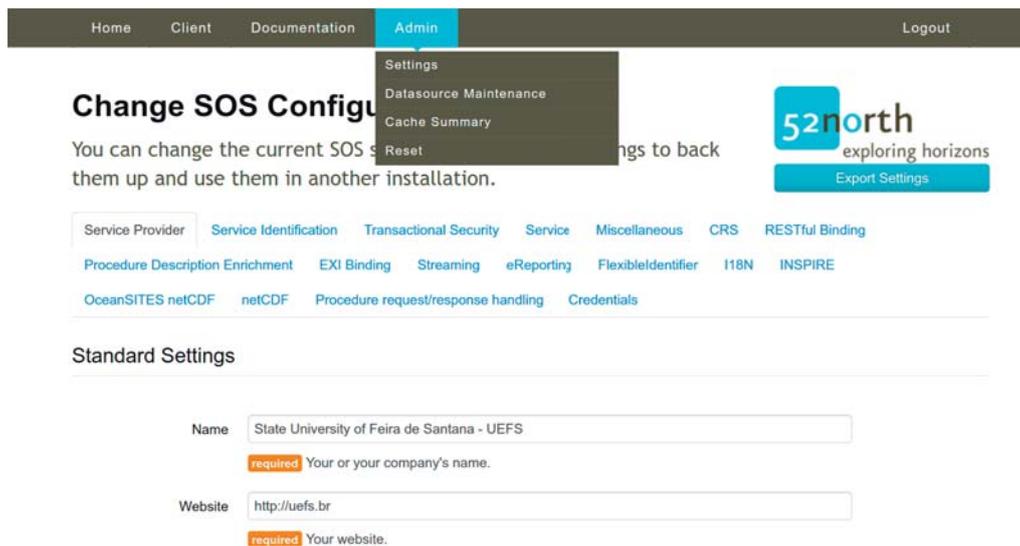
A.7.1 Opções gerais da administração

Um administrador tem acesso às opções (Figura A.2):

- “Settings” (Configurações) para registrar informações de contato do responsável pelo serviço, metadados da identificação do próprio serviço, segurança, integração com outros serviços SWE, internacionalização, credenciais da administração e outras configurações explicadas logo mais;
- “Datasource Maintenance” (Manutenção da conexão com o banco de dados) para limpar o banco de dados inteiramente mantendo as configurações correntes, deletar observações marcadas com a operação *DeleteObservation* e obter modelos de SQL utilizados pelo serviço para testes manuais;

- “Cache Summary” (Resumo do cache) para receber estatísticas da parte interna do cache como, por exemplo, hora da última atualização e número de propriedades observáveis;
- “Reset” (Resetar) onde toda a aplicação é restaurada ao ponto de configuração inicial, logo após uma nova instalação completa.

Figura A.2: Opções do administrador 52°North SOS com a opção “Settings” selecionada



A.7.2 Configurações do serviço

As configurações contém diversas sub-opções que aumentam consideravelmente a gerenciabilidade (Figura A.3):

- “Logging” (Auditoria) para ajustar níveis de registro, dias de backup dos registros, tamanho dos arquivos de registro e mostra a última mensagem registrada;
- “Operations” (Operações) para determinar a quais operações SOS 2.0 o serviço dará suporte;
- “Encodings” (Codificações) para habilitar ou desabilitar associações suportadas pelo serviço;
- “Extensions” (Extensões) usada no gerenciamento de suporte a software de terceiros;
- “Datasource” (Conexão com banco de dados) onde configurações do banco de dados podem ser alteradas;
- “Procedures” (Procedimentos) para alterar e deletar procedimentos existentes de um único sensor ou sistemas de sensores;

- “Capabilities Settings” (Configurações de Capacidades) definir uma lista estática de recursos disponibilizados pelo serviço caso seja mais apreciada do que uma lista gerada dinamicamente;
- “Observable Properties” (Propriedades Observáveis) usado para renomear propriedades observáveis registradas;
- “I18N Settings” (Configurações de Internacionalização) configurar suporte a múltiplas línguas;
- “eReporting Header” (Cabeçalho de Relatório Eletrônico) prover informações para geração de relatórios.

Figura A.3: Configurações do serviço 52°North SOS service com a opção “Operations” selecionada

The screenshot shows the 'Configure Operation' page in the 52°North Admin interface. The 'Operations' menu item is selected, and a table lists various SOS services with their status.

Service	Version	Operation	Status
AQD	1.0.0	DescribeSensor	active
AQD	1.0.0	GetCapabilities	active
AQD	1.0.0	GetObservation	active
SOS	2.0.0	Batch	active
SOS	2.0.0	DeleteObservation	inactive
SOS	2.0.0	DeleteSensor	inactive
SOS	2.0.0	DescribeSensor	active
SOS	2.0.0	GetCapabilities	active

A.7.3 Carregando conjunto de dados de teste embarcado

Um conjunto de dados de teste está disponibilizado internamente no painel administrativo na página inicial como mencionado acima. Aquele link carregará o cliente de teste do serviço com um grande arquivo de requisição JSON para inserir diversas propriedades observáveis, pontos de interesse, sensores e observações. Ao fim da página carregada consta o botão para enviar a requisição. Uma vez concluído, os dados de teste estarão salvos no banco de dados e prontos para serem obtidos pelo próprio cliente de teste, pelo JS Client incluso na versão *bundle*, ou qualquer outro serviço de visualização de dados compatível com SOS.

Apêndice B

Propriedades físicas de LCZ

Além dos critérios observados por um pesquisador durante o processo de classificação LCZ, outras informações podem ser utilizadas para aprimorar a acurácia da seleção como observações anteriormente realizadas. No trabalho de Stewart e Oke são sintetizadas algumas dessas características comuns a cada classe LCZ e trazemos a seguir sua versão adaptada.

Na Tabela B.1 são demonstradas classificações de rugosidade e sua largura z_0 . Dada uma área onde objetos irregulares estão sob a superfície e havendo vento em sua direção, a largura de rugosidade z_0 é a altura em que a velocidade do vento teoricamente chega a zero naquela área quando colide com os objetos irregulares.

Características da geometria e superfície de LCZ são encontradas na Tabela B.2 contendo dados como fator de visão do céu, fração da superfície que está construída e quanto é permeável ou impermeável.

Há também intervalos de valores quanto a propriedades térmicas de LCZ que podem apoiar uma seleção mais coerente. A Tabela B.3 apresenta esses valores relacionando com cada LCZ correspondente.

Tabela B.1: Classificação Davenport de rugosidade efetiva do terreno

Classe de Rugosidade (R_c)	Z_0 (m)	Descrição	Correspondência LCZ
1 – Mar	0,0002	Mar aberto, plano coberto por neve, deserto inexpressivo, macadame, e concreto, com alcance livre de vários quilômetros.	E, F, G
2 – Regular	0,005	Paisagem inexpressiva sem obstáculos com pouca ou nenhuma vegetação (e.g. pântano, região aberta não cultivada ou coberto por neve).	E, F
3 – Aberto	0,03	Região plana com vegetação baixa e obstáculos isolados separados por 50 vezes a altura dos obstáculos (e.g. grama, tundra, pista de decolagem em aeroportos).	D
4 – Irregularmente aberto	0,10	Culturas baixas ou coberto por plantas; região moderadamente aberta com obstáculos ocasionais (e.g. árvores isoladas, pequenas construções) separadas por 20 vezes a altura dos obstáculos.	7, C, D
5 – Irregular	0,25	Culturas altas ou de altura variável; obstáculos dispersos separados por 8 a 15 vezes a altura dos obstáculos, dependendo da porosidade (e.g. construções, filas de árvores).	5–10, B, C
6 – Muito irregular	0,5	Intensamente cultivado com grandes fazendas e aglomerados florestais separados por 8 vezes a altura dos obstáculos; matagal, pomares. Áreas urbanas com construções baixas espaçadas por 3 a 7 vezes o tamanho das construções; sem árvores altas.	2, 3, 5, 6, 9, 10, B
7 – Proeminente	1,0	Paisagem coberta com grandes obstáculos de altura similar separados por 1 vez o tamanho dos obstáculos (e.g. florestas maduras). Áreas urbanas densas sem variação expressiva na altura das construções.	2, 4
8 – Caótico	≥ 2	Paisagem com obstáculos largos irregularmente distribuídos (e.g. áreas urbanas densas com mistura de construções de baixa e alta elevações, grandes florestas com muitas clareiras).	1, 4, A

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012]

Tabela B.2: Valores de propriedades geométricas e da superfície de Zonas de Clima Local

Zona de Clima Local (LCZ)	Fator de visão do céu ^a	Relação de aspecto ^b	Fração de superfície construída ^c	Fração de superfície impermeável ^d	Fração de superfície permeável ^e	Altura dos elementos rugosos ^f	Classe da rugosidade do terreno ^g
LCZ 1 Compacto de alta elevação	0,2-0,4	> 2	40-60	40-60	< 10	> 25	8
LCZ 2 Compacto de média elevação	0,3-0,6	0,75-2	40-70	30-50	< 20	10-25	6-7
LCZ 3 Compacto de baixa elevação	0,2-0,6	0,75-1,5	40-70	20-50	< 30	3-10	6
LCZ 4 Aberto de alta elevação	0,5-0,7	0,75-1,25	20-40	30-40	30-40	> 25	7-8
LCZ 5 Aberto de média elevação	0,5-0,8	0,3-0,75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6
LCZ 6 Aberto de baixa elevação	0,6-0,9	0,3-0,75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6
LCZ 7 Peso-leve de baixa elevação	0,2-0,5	1-2	60-90	< 20	< 30	2-4	4-5
LCZ 8 Largo de baixa elevação	> 0,7	0,1-0,3	30-50	40-50	< 20	3-10	5
LCZ 9 Escassamente construído	> 0,8	0,1-0,25	10-20	< 20	60-80	3-10	5-6
LCZ 10 Indústria pesada	0,6-0,9	0,2-0,5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6
LCZ A Árvores aglomeradas	< 0,4	> 1	< 10	< 10	> 90	3-30	8
LCZ B Árvores dispersas	0,5-0,8	0,25-0,75	< 10	< 10	> 90	3-15	5-6
LCZ C Arbusto, relva	0,7-0,9	0,25-1	< 10	< 10	> 90	< 2	4-5
LCZ D Plantas baixas	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	< 1	3-4
LCZ E Rocha descoberta ou pavimentada	> 0,9	< 0,1	< 10	> 90	< 10	< 0,25	1-2
LCZ F Chão batido ou areia	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	< 0,25	1-2
LCZ G Água	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	-	1

^a Razão da quantidade visível do céu a partir da superfície.

^b Média da razão altura-largura de ruas (LCZs 1-7), espaçamento entre construções (LCZs 8-10), e espaçamento entre árvores (LCZs A-G).

^c Razão da área plana construída pela área plana total, expressa em porcentagem (%).

^d Razão da área plana impermeável (pavimentado, rocha) pela área plana total, expressa em porcentagem (%).

^e Razão da área plana permeável (chão batido, vegetação, água) pela área plana total, expressa em porcentagem (%).

^f Média da altura das construções (LCZs 1-10) e altura de plantas/árvores (LCZs A-F), expressa em metros (m).

^g Classificação da rugosidade efetiva do terreno para paisagens municipais e nacionais. Veja a Tabela B.1 para descrição das classes.

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012].

Tabela B.3: Valores de propriedades térmicas, radiativas e metabólicas de Zonas de Clima Local

Zona de Clima Local (LCZ)	Admitância da superfície ^a	Albedo da superfície ^b	Saída de calor antropogênico ^c
LCZ 1 Compacto de alta elevação	1.500–1.800	0,10–0,20	50–300
LCZ 2 Compacto de média elevação	1.500–2.200	0,10–0,20	< 75
LCZ 3 Compacto de baixa elevação	1.200–1.800	0,10–0,20	< 75
LCZ 4 Aberto de alta elevação	1.400–1.800	0,12–0,25	< 50
LCZ 5 Aberto de média elevação	1.400–2.000	0,12–0,25	< 25
LCZ 6 Aberto de baixa elevação	1.200–1.800	0,12–0,25	< 25
LCZ 7 Peso-leve de baixa elevação	800–1.500	0,15–0,35	< 35
LCZ 8 Largo de baixa elevação	1.200–1.800	0,15–0,25	< 50
LCZ 9 Escassamente construído	1.000–1.800	0,12–0,25	< 10
LCZ 10 Indústria pesada	1.000–2.500	0,12–0,20	> 300
LCZ A Árvores aglomeradas	desconhecido	0,10–0,20	0
LCZ B Árvores dispersas	1.000–1.800	0,15–0,25	0
LCZ C Arbusto, relva	700–1.500	0,15–0,30	0
LCZ D Plantas baixas	1.200–1.600	0,15–0,25	0
LCZ E Rocha descoberta ou pavimentada	1.200–2.500	0,15–0,30	0
LCZ F Chão batido ou areia	600–1.400	0,20–0,35	0
LCZ G Água	1.500	0,02–0,10	0

^a Habilidade de a superfície reter ou liberar calor ($Jm^{-2}s^{-1/2}K^{-1}$). Varia com a umidade do solo e densidade do material. Na literatura existem poucas estimativas da admitância em escala local; valores dados aqui são subjetivos e devem ser usados cuidadosamente. Note que a “superfície” em LCZ A é indefinida por isso sua admitância é desconhecida.

^b Razão da quantidade de radiação solar refletida pela superfície pela quantidade recebida. Varia com a cor, umidade e rugosidade da superfície.

^c Média anual da densidade de fluxo de calor (Wm^{-2}) provinda da queima de combustíveis e atividade humana (transporte, resfriamento/aquecimento de espaços, processamento industrial, metabolismo humano). Varia significativamente com latitude, estação climática e densidade populacional.

Adaptado de Stewart e Oke [Stewart e Oke 2012].