

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LEANDRO DA SILVA CAMARGO

**SOX: UMA PLATAFORMA PARA A COLETA MASSIVA DE DADOS E O
MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS RELACIONADAS
AO SOLO**

**Bagé
2019**

LEANDRO DA SILVA CAMARGO

**SOX: UMA PLATAFORMA PARA A COLETA MASSIVA DE DADOS E O
MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS RELACIONADAS
AO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral

Coorientador: Dr. Leandro Bochi da Silva Volk

**Bagé
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

C172s Camargo, Leandro da Silva

SOX: uma plataforma para a coleta massiva de dados e o monitoramento contínuo de variáveis ambientais relacionadas ao solo / Leandro da Silva Camargo.

117 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pampa, MESTRADO EM COMPUTAÇÃO APLICADA, 2019.

"Orientação: Érico Marcelo Hoff do Amaral

Coorientador: Leandro Bochi da Silva Volk".

1. Rede de sensores. 2. Variáveis ambientais. 3. Persistência dos dados. 4. Computação Ubíqua. I. Título.

LEANDRO DA SILVA CAMARGO

**SOX: UMA PLATAFORMA PARA A COLETA MASSIVA DE DADOS E O
MONITORAMENTO CONTÍNUO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS RELACIONADAS
AO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Computação Aplicada.

Dissertação defendida e aprovada em: 15/05/2019.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Leonardo Bidese de Pinho
UNIPAMPA

Prof. Dr. Vinicius do Nascimento Lampert
EMBRAPA

Prof. Dr. Alexandre Nunes Deibler
URCAMP

“As grandes ideias surgem da observação
dos pequenos detalhes”.

Augusto Cury

RESUMO

A interação entre solo e planta é fundamental para produzir insumos que fazem parte da cadeia alimentar dos seres vivos. O conhecimento das variáveis ambientais envolvidas nesse processo e que causam impacto na produtividade sem que ocorra a extração, destruição e contaminação por químicos das amostras do solo coletado é desafiador. A adoção de sensores para prover a avaliação do solo seria uma substituição eficaz e conveniente frente às técnicas laboratoriais padrão e métodos químicos. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma arquitetura composta por sensores eletrônicos que viabilizam a coleta dos dados de forma contínua, bem como uma estrutura computacional em nuvem que dá suporte a persistência desses volumes massivos de dados. Para embasar a construção da plataforma foi realizado um estudo exploratório trazendo a luz alguns desafios funcionais e operacionais impostos pelo cenário agrícola às soluções de cunho tecnológico. A metodologia de construção da plataforma SOX ocorreu em quatro etapas, a primeira que trata da identificação das variáveis relacionadas ao solo e a produtividade da área. A segunda etapa referente a definição dos equipamentos disponíveis, passando para a coleta dos valores e validações. A terceira etapa consiste na definição da arquitetura e integração das camadas. A última etapa trata da aplicação de uma bateria de testes de estresse, carga, funcionalidades e estabilidade da SOX. Como resultados, a plataforma oferece a possibilidade de coleta massiva de dados ambientais, os quais podem refletir a sustentabilidade da agricultura, quanto ao nível de produtividade e o status dos recursos. A SOX demonstrou suportar acessos simultâneos com até 32 usuários, onde foram executadas 100.000 operações de gravação de documentos. Possibilitando a visualização dos dados à medida que sejam registrados no banco e, acessíveis através de qualquer navegador da web. A plataforma SOX pode ser acessível a muitos usuários, aplicável às condições da área produtiva, sensível às tensões ambientais e de manejo ao longo do tempo e, permite, o armazenamento das séries históricas dos valores em uma estrutura de Banco de Dados digital.

Palavras-Chave: Rede de sensores. Variáveis ambientais. Persistência dos dados.

ABSTRACT

The interaction between soil and plant are fundamental inputs for production, these resources make up the living things food chain. Environmental variables knowledge involved in process have a productivity impact, without extraction, destruction and chemical contamination, soil sample collected is challenging. Sensors use for soil evaluation is effective replacing way laboratory techniques chemicals use, because they present a low ambient impact and cost. The present work presents an electronic sensors network that allow data collection in a continuous way, as well a cloud computing which structure supports data massive volumes. To support the platform construction, an exploratory study was carried out bringing to light some functional and operational challenges imposed by agricultural scenario on technological solutions. The SOX platform construction methodology took place in four stages, the first one dealing with variables related identification to the soil and the productivity of the area. The second stage refers available equipment definition, passing for values collection and validations. The third step is architecture definition and integration of the layers. The last step deals with a battery applications of stress tests, load, functionalities and platform stability. As a result, the SOX platform offers massive collection possibility of environmental data, which may reflect agriculture sustainability, productivity level and resources status. The SOX has been shown to support simultaneous access with up to 32 users, where 100,000 document recording operations were performed. Making it possible data view as it is database registered and accessible through any web browser. The SOX platform can be accessible to many users, applicable to productive area conditions, sensitive to environmental stresses and management over time, and allows values storage historical series in a digital database structure.

Keywords: Network of sensors. Environmental data. Data persistence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura para avaliação integradas de funções, bens e serviços do ecossistema	25
Figura 2 – Interrelações dos principais fatores que afetam a qualidade do solo	29
Figura 3 – Conjunto de variáveis ambientais que podem ser obtidas com o uso de sensores e impactam na qualidade do solo	32
Figura 4 – Arquitetura da ferramenta de <i>benchmark</i> – YCSB cliente	46
Figura 5 – Esquema de funcionamento da plataforma SOX	48
Figura 6 – Diagrama de blocos do sistema <i>field monitoring</i>	50
Figura 7 – Estrutura multinível do sistema <i>smart irrigation</i>	51
Figura 8 – Diagrama de comunicação do sistema <i>monitoring system</i>	52
Figura 9 – Diagrama de fluxo do sistema <i>irrigation management</i>	54
Figura 10 – Estrutura de quatro camadas para aplicações <i>smart agriculture</i>	55
Figura 11 – Detalhamento da metodologia aplicada à construção da plataforma SOX	60
Figura 12 – Mapa mental da fase de elicitação dos requisitos do sistema	64
Figura 13 – Modelo do processo de atividades executadas pela plataforma SOX	66
Figura 14 – Diagrama de casos de uso contendo os requisitos funcionais do sistema	67
Figura 15 – Modelo conceitual do diagrama de classes	70
Figura 16 – Diagrama de sequência com a troca de mensagens entre os objetos e componentes do sistema	72
Figura 17 – Modelo do sistema para a coleta de parâmetros ambientais (A) e do sistema de armazenamento local e de comunicação (B)	75
Figura 18 – Arquitetura da plataforma SOX (camadas, níveis de acesso e formato das mensagens)	76
Figura 19 – Mensagem JSON para a inserção de documentos no banco de dados MongoDB	77
Figura 20 – Formato da matriz que armazena os valores coletados pelos nós sensores	78
Figura 21 – Simulação de cálculo da autonomia energética de um componente	84
Figura 22 – Diagrama dos quatro níveis de análise elencados nos casos de teste (CT), aplicados a plataforma SOX	86

Figura 23 – Caso de teste 1, coleta de dados pelos nós sensores	87
Figura 24 – Caso de teste 2, armazenamento dos registros climáticos na camada local.....	89
Figura 25 – Caso de teste 3, dos acessos concorrentes ao MongoDB.....	90
Figura 26 – Caso de teste 4, de desempenho do MongoDB no Raspberry PI.....	91
Figura 27 – Distribuição dos dados referentes a luminosidade do ambiente	94
Figura 28 – Ambiente controlado para a coleta de parâmetros ambientais	94
Figura 29 – Distribuição dos valores de luminosidade (A) e umidade do solo (B).....	95
Figura 30 – Distribuição dos valores de temperatura (A) e umidade do ar (B) coletados pelo sensor DHT22	96
Figura 31 – Exemplo de mensagens geradas pelo sistema e armazenadas na camada local	98
Figura 32 – Avaliação do desempenho do MongoDB com acessos concorrentes à base de dados.....	99
Figura 33 – Tempo de inserção de documentos no MongoDB	100
Figura 34 – Desempenho do MongoDB em relação ao volume de operações por segundo	102
Figura 35 – Interface do usuário disponibilizada pela plataforma SOX.....	103
Figura 36 – Apresentação dos gráficos na tela do smartphone	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e as relações com a qualidade do solo	27
Tabela 2 – Comparativo entre os principais modelos de placas Arduino	38
Tabela 3 – Estado da arte das aplicações de <i>Big Data</i> para agricultura inteligente	43
Tabela 4 – Comparativo das características presentes nos trabalhos selecionados	56
Tabela 5 – Documentação resumida dos casos de uso	68
Tabela 6 – Preço dos componentes de hardware utilizados na SOX.....	74
Tabela 7 – Especificação técnica do Raspberry.....	81
Tabela 8 – Especificação técnica do Arduino.....	82
Tabela 9 – Especificação técnica dos sensores e placas	83
Tabela 10 –Tolerância à carga de armazenamento de dados na camada local	97
Tabela 11 – Tempo médio de inserções de documentos no MongoDB	101

LISTA DE SIGLAS

- A – Corrente em Ampere por hora
- ACID – Atomicity, Consistency, Isolation and Durability
- AP – Agricultura de Precisão
- API – Application Programming Interface (interface de programação de aplicativos)
- BASE – Basically Available, Soft-state, Eventual consistency
- BMP – Best Management Practice (melhor prática de gestão)
- bps – bits per second (bits por segundo)
- BSON – Binary JSON (JavaScript Object Notation)
- C – graus Celsius (°C)
- CAP – Consistency, Availability and Partition Tolerance (Consistência, disponibilidade e tolerância ao particionamento)
- CEPAN – Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios
- CT – Caso de Teste
- DB – Data Base (Banco de Dados)
- dBi – Decibéis (dB - ganho de sinal), (i – sinal máximo comparado com o sinal de uma antena isotrópica)
- DHT – Digital Humidity and Temperature sensor
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FAO – Food and Agriculture Organization
- GB – Giga Byte
- GSM – Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicações Móveis)
- HDFS – Hadoop Distributed File System (Sistema de Arquivo Distribuído Hadoop)
- HTML– HyperText Markup Language (Linguagem de Marcação de Texto)
- IDE – Integrated Development Environment (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
- IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos)
- IoT – Internet of Things (Internet das Coisas)
- IP – Internet Protocol (Protocolo de Internet)
- ISEs – Ion-Selective Electrodes (Eletrodos Íon-Seletivos)
- ISFET – Ion Sensitive Field Effect Transistor (Transistor de Efeito de Campo Sensível a Íon)

JS – Java Script

JSON – JavaScript Object Notation

KB – Kilobyte (1 Kilobyte equivale a 1.000 Bytes)

Kbps – Kilobit per Seconds (mil bits por segundo - taxa de transferência de dados)

Km – Quilômetros (múltiplo da unidade de medida de comprimento - metro)

LDR – Light Dependent Resistor

LPWAN – Low Power Wide Area (baixo consumo energético e grande cobertura)

mAh – Miliampère-hora (capacidade de armazenamento energético)

MHz – Mega-hertz

mm – Milímetros (submúltiplo da unidade de medida de comprimento - metro)

ms – Milissegundos (unidade de medida de tempo, 1 milésimo de segundo)

MVP – Minimum Viable Product (Produto Mínimo Viável)

NFC – Near-field communication (comunicação de campo próximo)

NFR – Non-functional requirements (requisitos não funcionais ou requisitos operacionais do sistema)

NoSQL – Not only structured query language

PWM – Pulse width modulation (modulação de largura de pulso)

QoS – Quality of service (Qualidade do serviço é a descrição ou medição do desempenho geral de um serviço)

RAM – Random-access memory (memória de acesso aleatório)

RF – Requisito funcional do sistema

RS – Estado do Rio Grande do Sul

RSSF – Rede de sensores sem fio

SD – Secure digital (cartão de memória flash SD)

SGBD – Sistema gerenciador de banco de dados

SOX – Soil observation and exploration of natural resources. Uma plataforma para observação dos cuidados com o solo e da exploração dos recursos naturais.

SQL – Structured Query Language (Linguagem de Consulta Estruturada)

SSD – Solid-State Drive (Disco de Estado Sólido)

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

US\$ – Dólar Americano

UC – Use Cases (Casos de Uso)

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USB – Universal Serial Bus (Barramento Serial Universal)

VANT – Veículo Aéreo não Tripulado

WPAN – Wireless Personal Area Network, uma tecnologia de rede sem fio de baixa distância e baixa potência

WSN – Wireless Sensor Network (Rede de Sensor sem Fio)

YCSB – Yahoo Cloud Serving Benchmark

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Indicadores de qualidade do solo.....	18
1.2 Monitoramento com uso de sensores	19
1.3 Problema de pesquisa	20
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo geral	21
1.4.2 Objetivos específicos.....	21
1.5 Organização do texto	22
2 CONCEITOS GERAIS	23
2.1 O solo	23
2.1.1 Bens e serviços ecossistêmicos	25
2.1.2 Aspectos de qualidade	26
2.1.3 Atributos mensuráveis.....	28
2.1.4 Amostragens	30
2.2 Variáveis ambientais	31
2.3 Tecnologias de comunicação	33
2.3.1 Redes de sensores sem fio (RSSF)	33
2.3.2 Internet das coisas	34
2.3.3 Computação em nuvem	36
2.3.4 Microcontroladores e nós sensores	37
2.4 Persistência dos dados	39
2.4.1 Formato JSON	39
2.4.2 Banco de dados.....	40
2.4.3 <i>Big data</i>	42
2.5 Teste de software	44

2.6 Ferramenta de <i>benchmark</i> YCSB.....	46
2.7 Esboço da plataforma SOX	47
3 TRABALHOS CORRELATOS.....	49
3.1 Critérios para escolha dos trabalhos	49
3.2 Field monitoring using IoT in agriculture.....	49
3.3 Cloud based data analysis and monitoring of smart multi-level irrigation system using IoT	51
3.4 Development of a cloud-based monitoring system using Arduino: applications in agriculture.....	52
3.5 A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management.....	53
3.6 A survey: smart agriculture IoT with cloud computing.....	54
3.7 Análise comparativa entre os trabalhos.....	56
4. METODOLOGIA	59
4.1 Classificação	59
4.2 Etapas do método	60
5. IMPLEMENTAÇÃO.....	63
5.1 Requisitos do sistema	63
5.2 Modelagem do sistema.....	66
5.2.1 Diagrama de casos de uso	67
5.2.2 Modelo conceitual do diagrama de classes.....	69
5.2.3 Diagrama de sequência	71
5.3 Desenvolvimento.....	73
5.3.1 Construção da plataforma SOX	74
5.3.2 Tecnologias adotadas.....	78
5.3.2.1 Tecnologias de software.....	79
5.3.2.2 Tecnologias de hardware	81

5.3.3 Ambiente de integração das tecnologias.....	85
5.4 Casos de teste	85
5.4.1 CT1 Caso de teste da coleta de dados pelos nós sensores.....	87
5.4.2 CT2 Caso de teste do armazenamento local.....	89
5.4.3 CT3 Caso de teste de acessos concorrentes ao MongoDB	90
5.4.4 CT4 Caso de teste de desempenho do banco de dados MongoDB no Raspberry PI	91
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	93
6.1 Estabilidade dos sensores	93
6.2 Armazenamento local dos dados e estruturação das mensagens	97
6.3 Acesso concorrente	99
6.4 Escalabilidade	100
6.5 Visualização de valores coletados	102
6.6 Discussões	105
7 CONCLUSÃO	108
REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

O momento tecnológico atual é de uma grande proliferação de recursos de hardware e software, muitos dos quais sem possibilidades de integração de modo a satisfazer as demandas dos usuários. Outros, porém, possuem características adequadas, mas com limitações que dificultam seu uso. Numa aplicação de software, mais especificamente, o aspecto de real relevância é a capacidade de gerenciamento de dados, tanto na estruturação, armazenamento e pesquisa, como na visualização e distribuição.

“O setor agrícola enfrenta desafios relacionados com a disponibilidade limitada de terras aráveis, água, energia, alterações climáticas globais e da oferta de mão-de-obra” (HOFF, 2011, p. 5). Nesse sentido, devido aos avanços tecnológicos, bem como pelo aumento na demanda por alimentos, há uma forte pressão por parte da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), para que os agricultores utilizem ferramentas e tecnologias inovadoras (FAO, 2014).

A estrutura da Internet das Coisas (IoT), pode oferecer subsídios ao entendimento da interdependência dos recursos de energia, água e alimentos, através das redes de sensores. A fusão da IoT, juntamente com a análise preditiva de dados ambientais, entrega aos agricultores as informações críticas sobre os parâmetros do solo e do meio ambiente para orientar as ações no campo. “Os principais componentes da agricultura inteligente: o sensoriamento de dados, a comunicação, o armazenamento e o processamento, são essenciais para obter recursos preditivos robustos” (IVANOV; BHARGAVA; DONNELLY, 2015, p. 77).

Análises precisas e oportunas de grandes quantidades de dados fornecidos por ambientes integrados de redes de sensores serão fundamentais para aumentar a eficiência e a sustentabilidade no uso dos recursos naturais pela agricultura. Assim, o desafio tecnológico desse trabalho está em construir uma rede de sensores eletrônicos de baixo custo, *open source* que viabilize a coleta desses dados, sua transmissão, bem como a persistência dos valores, com alta escalabilidade e disponibilidade, suportando um grande volume de inserções de documentos na base de dados e de requisições realizadas pela web. No cenário do agronegócio, uma potencial aplicação dos sensores está na obtenção de valores referentes às características do solo, as quais auxiliem na observação da capacidade produtiva de uma área.

1.1 Indicadores de qualidade do solo

Conforme aponta Troeh *et al.* (1999, p. 38):

“O solo, como o ar e a água, é um recurso natural fundamental que suporta uma variedade de bens e serviços ecossistêmicos em benefício da humanidade. Embora a função do solo na produtividade das culturas tenha sido reconhecida há muito tempo, a importância da sua conservação e do aumento dos serviços ecossistêmicos prestados por ele, ocorreu recentemente”.

A peculiaridade em apontar a qualidade do solo está na sua heterogeneidade espacial, temporal e na multiplicidade dos fatores formadores (JENNY, 1994). A heterogeneidade do solo decorre da variação do seu material, como rochas, vegetação, mudanças de relevo, animais, atividade humana e o tempo de formação (LVOVA; NADPOROZHSKAYA, 2017).

A qualidade do solo está atrelada a sua capacidade de cumprir com suas funções ecológicas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Esse indicativo pode ser expresso em termos da sua capacidade de receber, sustentar, armazenar e reciclar água, minerais e energia para a produção de culturas em níveis adequados, preservando um ambiente saudável (ARSHAD; COEN, 1992).

Conforme descrito por Doran e Parking (1994, p. 15):

“Um indicador de qualidade do solo deve considerar um conjunto de propriedades, atendendo aos seguintes critérios: elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível a muitos usuários e aplicável às condições de campo; ser sensível às variações de manejo e de clima ao longo do tempo; e, quando possível, ser componente de banco de dados já existente”.

Nesse contexto, o uso de sensores pode contribuir com a leitura desses valores de forma sensível às alterações, suportando exposição a intempéries e cobrindo as propriedades biológicas, químicas e físicas.

As mudanças no “*status*” da qualidade do solo têm sido avaliadas por sistemas quantitativos que utilizam indicadores apropriados, comparando com valores desejáveis em diferentes intervalos de tempo, para um fim específico (KARLEN *et al.*, 1997). Onde a escolha de tais indicadores passa pela dificuldade de se chegar a um consenso sobre quais parâmetros são capazes de verdadeiramente caracterizar o processo a ser representado.

O solo é um sistema complexo, parte fundamental de todos os ecossistemas terrestre e desempenha funções importantes às várias áreas das atividades humanas (agricultura, silvicultura, mineração) e implementação ambiental (LVOVA; NADPOROZHSKAYA, 2017).

Para Arshad e Coen (1992, p. 27):

“A identificação de indicadores da qualidade funcional é uma tarefa extremamente complexa, pois esses indicadores estão atrelados a diversos fatores químicos, físicos e biológicos que controlam estes processos e suas variações em função do tempo e do espaço, aumentando a complexidade em definir a qualidade deste solo”.

Tais indicadores apresentam uma variação espacial e temporal maior quanto mais superficial a camada de solo analisada, dessa forma, uma análise contínua dessas variáveis ambientais se faz necessária.

Para Springett (1993), os bons indicadores biofísicos devem ser simples, baratos, óbvios e sensíveis às tensões ambientais. Contudo, se corretamente apontados tais indicadores, talvez seja possível estabelecer os padrões de processos que ocorrem no solo.

1.2 Monitoramento com uso de sensores

Mesmo depois de escolhidos os indicadores de qualidade do solo, eles são convencionalmente atrelados a amostragens e metodologias custosas, destrutivas e geradoras de resíduos. Desta forma, a coleta de dados de forma constante e o monitoramento por sensores associados ao sistema proposto nesse trabalho pretende diminuir esse impacto, além de gerar um grande volume de dados coletados no tempo e no espaço, proporcionando a identificação de padrões e processos do solo.

Recentemente, com a adoção de sensores há um incremento significativamente na obtenção de dados. O desenvolvimento acelerado da Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) e da Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) está impulsionando o fenômeno chamado de Agricultura Inteligente (*Smart Farming*) (SUNDMAEKER *et al.*, 2016).

Para Wolfert *et al.* (2017, p. 72):

“Enquanto a Agricultura de Precisão (AP) está levando em conta a variabilidade da área, a Agricultura Inteligente vai além disso, pois o gerenciamento de tarefas é baseado no local e também nos dados observados, reforçados pelo conhecimento do contexto e da situação, desencadeados por eventos em tempo real”.

O uso de sensores pode auxiliar na percepção das variações das propriedades ambientais na área produtiva à medida que ocorram auxiliando a tomada de decisão de forma precisa e assertiva.

Conforme Lobsey *et al.* (2010), a adoção de sensores para prover a avaliação do solo seria uma substituição eficaz, de baixo custo e conveniente frente às técnicas laboratoriais convencionais e os métodos químicos. Contudo, mesmo com benefícios evidentes, há poucos relatos sobre os sistemas para medir os principais nutrientes do solo, e ainda menos trabalhos relatando a análise *in situ* do solo ou em movimento (*on-the-go*).

1.3 Problema de pesquisa

As limitações impostas ao setor agrícola quanto a área produtiva e o aumento exponencial na demanda por alimentos requerem do produtor a incorporação de novas tecnologias e de ferramentas digitais que auxiliem a tomada de decisão mais assertiva. A agricultura depende do solo para a fixação de raízes, fornecimento de água e nutrientes, além disso, armazena e transforma parcialmente minerais, água, matéria orgânica e diversas substâncias químicas.

Conforme aponta White (2006), o solo é continuamente variável no espaço de poucos metros e, sendo um sistema biológico complexo e dinâmico, é variável no decorrer do tempo. A taxa de mudança das propriedades individuais do solo é em si muito variável. Assim sendo, a observação contínua de suas propriedades, com o uso de sensores, pode auxiliar na produção de alimentos respeitando os limites ecossistêmicos.

A fertilidade dos solos depende de um conjunto de fatores, uns de natureza física, outros de natureza química. Da conjugação destes fatores, resulta a capacidade de produção do solo. Nesse sentido, a evolução da IoT e a capacidade computacional dos sensores pode oferecer leituras das características do solo.

Contudo, o uso dos sensores para a coleta das informações impõe desafios à IoT, tais como a eficiência energética, a tolerância à intempérie e a disponibilidade dos dados. Conforme Wang (2011), outros tantos desafios relacionados à área de cobertura das redes e limitações na perspectiva do acesso aos dados. Destarte, como coletar, transmitir, armazenar e disponibilizar um volume massivo de variáveis ambientais, relacionados ao solo, de forma contínua no tempo e no espaço em um cenário com baixa disponibilidade de recursos para a comunicação dos valores observados?

1.4 Objetivos

Serão apresentados os elementos que resumem e orientam a ideia central deste trabalho, qual seja, a de identificar as variáveis que estabelecem a relação do solo com seu uso econômico, sustentável e permanente, especialmente voltado à produção de alimentos, construindo um histórico da sua evolução através da comunicação e do armazenando desses valores em uma estrutura de Banco de Dados digital.

1.4.1 Objetivo geral

Construir uma arquitetura que utilize sensores com a capacidade de monitoramento permanente as condições ambientais, armazenando os resultados capturados em uma estrutura de Banco de Dados.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Utilizar sensores eletrônicos de baixo custo e *open source* para coletar variáveis ambientais;
- b) Definir uma estrutura de banco de dados para atender o problema de pesquisa elencado;
- c) Suportar a inserção dos dados de forma concorrente na base de dados;
- d) Modelar uma solução escalável considerando o número de sensores instalados;

- e) Viabilizar o armazenamento e persistência dos valores coletados pelos nós sensores à base de dados;
- f) Disponibilizar uma interface Web para a visualização dos valores coletados.

1.5 Organização do texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- a) capítulo 2 traz a revisão de literatura referente ao solo, suas contribuições ecossistêmicas, os aspectos de qualidade e a análise desta qualidade. Elenca as questões tecnológicas com conceitos sobre a Internet das coisas, computação em nuvem e, ainda, a persistência dos dados tratando questões de armazenamento e operação com grandes volumes de dados;
- b) capítulo 3 apresenta os critérios utilizados na pesquisa e seleção dos trabalhos correlatos, bem como a descrição das principais características e arquitetura adotada pelas soluções;
- c) capítulo 4 descreve os materiais demandados e a metodologia utilizada nesse trabalho, os requisitos do sistema, as modelagens e demais artefatos necessários à construção do modelo desenvolvido para alcançar os objetivos previstos;
- d) capítulo 5 apresenta os testes de carga, estresse e desempenho aplicados à plataforma SOX e os resultados obtidos, visando demonstrar a estabilidade dos componentes e tolerância às falhas;
- e) capítulo 6 traz as principais considerações relacionadas aos objetivos alcançados, as dificuldades superadas e contribuições da plataforma desenvolvida;
- f) capítulo 7 elenca as possibilidades de trabalhos futuros, bem como a publicação de um artigo nos anais de um evento ligado ao agronegócio, resultante da análise e mineração de alguns valores ambientais.

2 CONCEITOS GERAIS

Um sistema de monitoramento do ambiente agrícola pode fornecer subsídios ao acompanhamento dos indicadores que impactam na área produtiva, bem como ao gerenciamento de equipamentos que interagem com o ambiente, visando contribuir com os resultados obtidos na produção de alimentos.

No entanto, conforme sugerido por Hwang *et al.* (2010, p. 11198):

“Os sistemas de monitoramento agrícola existentes são aplicados e utilizados principalmente em ambientes agrícolas fechados, como estufas, galpões de gado, etc., pois é difícil essa aplicação em locais ao ar livre como lavoura de grãos, campos, pomares, etc. devido principalmente a falta de infraestrutura de TIC”.

É necessário explorar as tecnologias disponíveis no mercado e buscar a convergência delas para o melhor entendimento dos processos que envolvem o solo. Assim, o presente capítulo busca descrever conceitos básicos do solo, dos parâmetros que possam apontar suas características e a capacidade em desempenhar as funções ecológicas. Inclui-se nesta revisão o cenário de desenvolvimento tecnológico, os quais dão suporte aos objetivos desse trabalho, envolvendo desde os próprios sensores, passando pela transmissão, o armazenamento e chegando na análise e apresentação de resultados observados em trabalhos correlatos.

2.1 O solo

Os solos são definidos como uma mistura heterogênea de materiais minerais e orgânicos na superfície da terra, que serve como um meio para o crescimento das plantas. Para White (2006, p. 63), “há pouco mérito em tentar dar uma definição rigorosa do solo devido à complexidade de sua constituição e das forças físicas, químicas e biológicas que atuam sobre ele”. Pois dependendo do contexto o solo significa coisas diferentes, por exemplo, na perspectiva de um produtor rural que o utiliza para plantio quando comparada a visão do engenheiro civil que deseja fixar as fundações de uma edificação.

A composição do solo era considerada um produto das rochas pelos geólogos, contudo, “V.V. Dokuchaev - Pai da Ciência do Solo – estabeleceu que o solo é como

um corpo natural distinto, altamente heterogêneo e com uma gênese definida e uma natureza própria” (SINGH; CHANDRAN, 2015, p. 58).

Um perfil do solo é um registro histórico de todos os fatores e processos de formação, constituindo uma importante unidade de estudos que investigam a sua classificação. A morfologia do solo está presente abaixo da superfície da terra, portanto, muitas vezes imperceptível. Contudo, a sua fertilidade é fundamental para a produtividade.

Conforme descrito por Harvey *et al.* (1987, p. 7):

“Os processos mais críticos estão em profundidades de 5 a 40 cm, pois a água e os nutrientes tendem a se acumular e a circular nas camadas superficiais, onde a concentração desses processos perto da superfície do solo os torna potencialmente sensíveis a rupturas e altamente variáveis de um local para outro”.

Neste cenário, os nós sensores parecem capazes de obter leituras nestas profundidades e podem contribuir à análise de algumas propriedades sem a necessidade de estratificação de amostras.

Para Johnson *et al.* (1994), os solos atuam como fontes e dissipadores de calor e servem como repositório de nutrientes minerais e água. Os solos também fornecem um meio de ancoragem para as raízes das plantas superiores e abrigam uma população microbiana complexa e dinâmica.

A microbiota do solo emite gases resultantes da sua respiração e da interação como o sistema, assim, o uso de sensores que detectam o volume de gás carbônico pode apontar a intensidade da atividade e conseqüentemente a qualidade do solo sob esta perspectiva. Essa população microbiana decompõe o material orgânico depositado no perfil do solo e impulsiona os processos de ciclagem de nutrientes dentro dos ecossistemas (JOHNSON *et al.*, 1994). Ou seja, é um fator de impacto no processo produtivo das culturas.

Para Lvova e Nadporozhskaya (2017), o solo é um sistema, isto é, um conjunto de elementos funcionalmente correlacionados. Os solos naturais são alterados pelas atividades humanas podendo ser transformados totalmente e, por vezes, mantendo as novas propriedades por um longo tempo. Assim sendo, o monitoramento contínuo das características pode auxiliar na identificação de alterações e na promoção de medidas de contorno visando dirimir tais impactos causados pela ação do homem

2.1.1 Bens e serviços ecossistêmicos

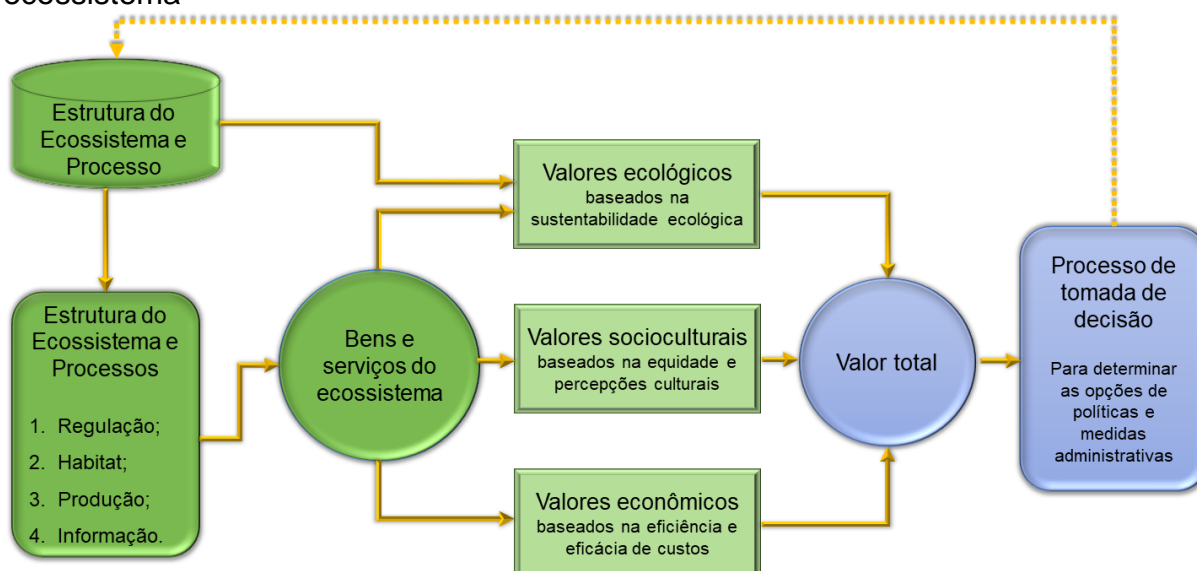
O conceito de serviço ecossistêmico apresentando por ecologistas e economistas atentos à degradação ambiental resultou na expansão das áreas de conhecimento, atraindo as atenções para questões sobre métodos e aplicações (CHAUDHARY *et al.*, 2015).

Conforme apresentam De Groot, Wilson e Boumans (2002, p. 394):

Na literatura ecológica, o termo "função do ecossistema" tem sido sujeito a várias interpretações, às vezes contraditórias, pois o conceito é usado para descrever o funcionamento interno do ecossistema (por exemplo, manutenção de fluxos de energia, (re)ciclagem de nutrientes, interações da rede alimentar) e por vezes se relaciona com os benefícios derivados das propriedades e processos dos ecossistemas (por exemplo, a produção de alimentos e o tratamento de resíduos).

Dessa forma, como exibido na Figura 1, o primeiro passo para uma avaliação abrangente dos bens e serviços ecossistêmicos envolve a tradução da complexidade ecológica (estruturas e processos) em um número mais limitado de funções, as quais fornecem os bens e serviços que são valorizados pelos seres humanos.

Figura 1 – Estrutura para avaliação integradas de funções, bens e serviços do ecossistema



Fonte: Adaptado de De Groot; Wilson; Boumans (2002).

As funções do ecossistema são melhor concebidas como um subconjunto de processos ecológicos e estruturas de ecossistemas, conforme evidenciado na Figura

1. Onde cada função é o resultado dos processos naturais do subsistema ecológico total, do qual faz parte. Um grande desafio para recuperar ecossistemas e garantir a sustentabilidade da agricultura é projetar e adotar mudanças nos sistemas atuais de produção, a fim de fazê-los fornecer uma variedade de serviços ecossistêmicos (BRADSHAW; SYKES, 2014). Nesse sentido, o foco está em apontar os aspectos de qualidade para avaliar as práticas de manejo do solo, que busquem a sustentabilidade da gestão agrícola.

2.1.2 Aspectos de qualidade

O termo qualidade implica em julgamento de valor ou grau de excelência, assim, a qualidade do solo diz respeito a alguma medida de uma propriedade ou função do solo (“bom” ou “ruim”) para um propósito específico. Patzel *et al.* (2000, p. 133), apontam que "a qualidade do solo engloba um conjunto indefinido (aberto) de atributos tangíveis ou disposicionais do solo". Assim, o conceito de qualidade do solo pode ser considerado como um "contêiner" para vários atributos de interesse em qualquer situação.

Conforme descrevem Doran e Parkin, (1994, p. 4):

“Os componentes do solo incluem a matéria mineral inorgânica (areia, sedimentos e partículas de argila), matéria orgânica, água, gases, e organismos vivos e há um contínuo intercâmbio de moléculas e íons entre as fases sólida, líquida e gasosa que são mediados pelos processos físicos, químicos e biológicos”.

Tais processos integram as variáveis ambientais que se deseja coletar nesse trabalho, tendo como intuito a predição da disponibilidade dos demais componentes do solo e conseqüentemente da sua qualidade.

Para Islam e Weil (2000, p. 72), dividiram os indicadores de qualidade do solo em três grandes grupos:

- a) efêmeros: cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes;
- b) permanentes: que são inerentes ao solo, como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia e;
- c) intermediários: que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo.

Nesse trabalho se pretende analisar os grupos de indicadores efêmeros e intermediários, devido a disposição na área, ou seja, nas camadas mais superficiais e conseqüentemente, onde há maior variação e impacto na produtividade das culturas.

Conforme sugerido por Vezzani e Mielniczuk (2009, p. 745):

As pesquisas e discussões sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade agrícola originaram, basicamente, três linhas de pensamentos, sendo uma linha que visa a busca de indicadores de natureza biológica, química e física, a outra idealiza a matéria orgânica do solo como melhor indicador, e a última analisa os processos no sistema solo-planta.

De forma complementar a Tabela 1 apresenta uma consolidação dos indicadores utilizados para avaliar a qualidade do solo conforme suas características químicas, físicas e biológicas. Apontando a relação de cada indicado com o aspecto impactado no solo.

Tabela 1 – Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e as relações com a qualidade do solo

Indicadores	Relação com a qualidade do solo
Matéria orgânica do solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo
FÍSICOS	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo
Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água
QUÍMICOS	
Ph	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
BIOLÓGICOS	
Biomassa Microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes.
Mineralização nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprir nutrientes.
Respiração do solo	Atividade microbiana.
Fixação biológica de N ₂	Potencial de suprimento de N para as plantas.
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica do solo.

Fonte: Adaptado de Doran; Parkin (1994).

Com relação a qualidade do solo, um importante aspecto físico é a umidade do campo, pois pode indicar a capacidade de infiltração, transporte e retenção da água, sendo considerada uma das características gerais mais importantes. O crescimento e desenvolvimento da biota, a taxa de processos do solo, o acúmulo e a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos estão associados em grande parte a umidade do solo.

Conforme Ivova e Nadporozhskaya, (2017), a umidade no campo tem um valor extremamente variável no tempo, dependendo da chuva, irrigação e água subterrânea no solo e do consumo de água por evaporação, transpiração e escoamento. A umidade do solo é um dos fatores que impactam na eficiência das plantas e regula a diversidade de espécies dos complexos fito-zoológicos e microbianos. O equilíbrio na umidade do solo é determinado pelo clima, a posição do solo na paisagem, o tipo de vegetação, as atividades humanas e as estações do ano.

Conforme apresentado por Doran (2002, p. 122):

“O uso de indicadores como a profundidade do solo e a cobertura de proteção do solo em um dado sistema de manejo foram considerados os meios mais frutíferos de vincular a ciência às práticas de avaliação da sustentabilidade de manejos.”

Sob essa perspectiva, ao avaliar os aspectos de qualidade do solo, alguns indicadores podem soar complexos demais no gerenciamento da área produtiva, assim, por meio dos sensores é possível tornar essa ação simples e apresentar significado aos agricultores.

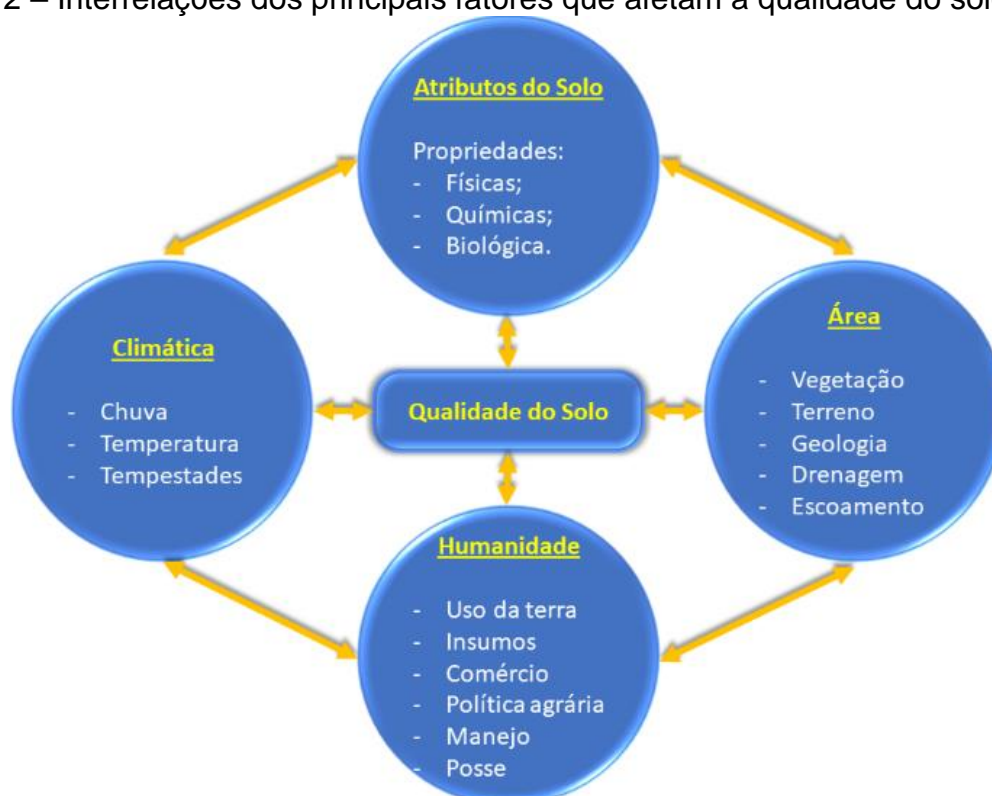
2.1.3 Atributos mensuráveis

A necessidade de avaliação da qualidade do solo foi fortalecida pela crescente preocupação global com a sua degradação. Conforme Arshad e Coen, (1992, p. 25):

Embora muitas características do solo sejam afetadas pelos processos de degradação, os principais atributos mensuráveis do solo que de alguma forma impactam a produtividade são: profundidade do solo, capacidade de retenção de água, densidade aparente, condutividade hidráulica e elétrica, disponibilidade e capacidade de retenção de nutrientes, matéria orgânica e pH.

As ligações entre a produtividade do solo e a qualidade do solo são lógicas porque a produtividade é uma função crítica para a sustentabilidade agrícola das culturas. A produtividade pode ser reduzida através da erosão, mineração de nutrientes, salinização, acidificação, encharcamento ou compactação, que são condições que refletem a redução da qualidade do solo (SCHJONNING *et al.*, 2004). As relações entre esses fatores são esquematicamente ilustradas na Figura 2.

Figura 2 – Interrelações dos principais fatores que afetam a qualidade do solo



Fonte: Adaptado de Arshad; Coen (1992).

Conforme apresentado na Figura 2, além do clima, características da área e atributos do solo, o fator Homem causa impacto no solo através da aplicação dos sistemas de produção de culturas, habilidades de operação e práticas de manejo e, com isso, acaba afetando diretamente a qualidade do solo. Na perspectiva de Arshad e Coen (1992), para quantificar e avaliar mudanças na qualidade do solo, várias combinações de sistemas agrícolas e suas interações com diferentes atributos do solo devem ser entendidas.

Por estas razões, a qualidade do solo é frequentemente avaliada de forma subjetiva através da análise de práticas de gestão. Conforme aponta White (2006), a qualidade pode ser inferida por: grau em que uma prática de manejo protege o solo

da degradação; grau de adoção de uma melhor prática de gestão (BMP), ou ainda; outras práticas, dentro de uma área de interesse. Assim, a informação do local é essencial para relacionar os atributos de qualidade do solo ao desempenho da cultura e aos efeitos ambientais, através da seleção de conjunto mínimo de dados que atendam critérios cientificamente válidos à avaliação e o monitoramento da área produtiva.

O monitoramento contínuo das variáveis ambientais pode permitir a estimativa da estabilidade do solo sob os dois aspectos apontados por Schjonning *et al.* (2004, p. 315):

Em situações de estresse ou perturbação, onde tal estabilidade pode expressar:

- a) a resistência a mudanças na função ou na forma durante um evento de estresse;
- b) a capacidade de recuperar a integridade funcional e estrutural, resiliência, após uma perturbação.

Assim, resiliência se refere à capacidade de recuperar funções, bem como à forma física, características estas que dão suporte às funções ecossistêmicas. O monitoramento contínuo, na perspectiva de Arshad e Coen (1992, p. 27), “pode gerar dados úteis ao desenvolvimento de modelos preditivos da taxa de mudança (positiva ou negativa) na qualidade do solo, sob diferentes práticas de manejo e de cultura”. Corroborando com a proposta da plataforma SOX¹, a qual desenvolveu técnicas simples de monitoramento do solo, visando a coleta massiva e contínua das variáveis ambientais, para que possam ser usadas pelos produtores e extensionistas, particularmente onde os recursos são limitados.

2.1.4 Amostragens

Conforme Karlen *et al.* (1997), os indicadores de qualidade são propriedades mensuráveis (quantitativas ou qualitativas) acerca de um processo ou atividade e que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado

¹ SOX: nome da plataforma construída nesse trabalho (**S**oil **o**bservation and **e**xploration). Uma plataforma para observação dos cuidados com o solo e da exploração dos recursos naturais.

ecossistema. Neste sentido, o uso de sensores permite este acompanhamento de forma contínua, bem como a persistência do grande volume de dados gerados pode permitir a identificação de novas associações entre os indicadores ambientais coletados.

Pelo fato de ser afetado por um número razoável de variáveis, a qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada a partir de indicadores (KARLEN *et al.*, 1997). Um dos aspectos mais críticos do teste de solo é, na verdade, obter amostras de solo representativas, ou seja, coletadas com densidade espacial adequada, na profundidade e pelo tempo apropriados (ADAMCHUK *et al.*, 2004). Nesse sentido, o uso de sensores, tais como: de umidade do solo, acidez e gases, podem responder quanto aos indicadores de qualidade do solo e, ainda, permitir a coleta e o monitoramento contínuo de uma área com maior densidade de cobertura, no intervalo de tempo definido pelo consultor técnico.

Atualmente, para avaliar um solo, são utilizadas as metodologias randomizadas, adaptativas e de amostragem granulada. Onde a randomizada são coletas aleatórias no campo. Já na amostragem adaptativa, os locais selecionados dependem de informações prévias. Enquanto a amostragem de grade, envolve a coleta sistemática de amostras de pontos predeterminados no campo. Nenhuma destas práticas existentes de amostragem de solo foi reconhecida como a mais eficaz (WOLLENHAUPT *et al.*, 1997).

2.2 Variáveis ambientais

O uso de insumos de boa qualidade, tais como: sementes, fertilizantes químicos, bem como a adoção de sistemas de irrigação contribuem notavelmente com o incremento da produtividade de grãos. Contudo, às práticas convencionais de preparo do solo têm se mostrado insuficientes para enfrentar os desafios da produtividade de forma adequada e sustentável evitando a degradação dos recursos naturais.

Tal degradação é uma decorrência da falta de acompanhamento da qualidade do solo, algo derivado de análises laboratoriais, no entanto, esse método leva tempo e gera despesas significativas, assim, essas variáveis não são medidas com frequência. A Figura 3 expõe as variáveis ambientais que se pretende acompanhar

através da plataforma SOX, de forma contínua e sensível às mudanças da área produtiva.

Figura 3 – Conjunto de variáveis ambientais que podem ser obtidas com o uso de sensores e impactam na qualidade do solo



Fonte: Autor (2019).

Com relação às condições biológicas, segundo Kabiri *et al.* (2016), as atividades microbianas têm sido utilizadas para medir a influência das práticas de manejo do solo na sua qualidade. Essa atividade pode ser avaliada com o uso de sensores sensíveis à gases provenientes desses organismos. A magnitude das biomassas microbianas reflete a saúde biológica dos solos ao oferecerem a presença de carbono, nitrogênio, fósforo e atividades enzimáticas, as quais regem a produtividade do solo (HUSSAIN *et al.*, 2009).

A qualidade do solo é afetada por sua estrutura, temperatura, umidade e aeração, essas condições impactam direta e indiretamente os serviços ecossistêmicos e conseqüentemente a produtividade (BARRIOS, 2007). Assim, a obtenção dessas variáveis ocorre com o uso de sensores de temperatura, umidade do ar e umidade do solo. A leitura contínua dessas variáveis pode permitir a análise

da quantidade dos insumos, bem como a percepção dos efeitos da adubação e da rotação de culturas, avaliando o impacto sobre a densidade populacional dos microrganismos e as alterações percebidas nesse ambiente.

Os aspectos abordados nas seções 2.1 e 2.2 que tratam do solo e os desafios da definição dos parâmetros e, ainda, da observação e análise das variáveis ambientais que impactam a qualidade do solo vão ao encontro de algumas evoluções percebidas no campo da tecnologia da informação e comunicação (TIC). Desta forma, a seção 2.3 elenca o desenvolvimento de algumas áreas da TIC que podem compor a plataforma SOX, desde que sua aplicação ofereça compatibilidade com a área agrícola, podendo inclusive dirimir os obstáculos trazidos à luz até o presente momento nessa pesquisa.

2.3 Tecnologias de comunicação

Um dos maiores desafios na proposição de soluções de tecnologia da informação destinadas ao agronegócio está nas restrições de estrutura de comunicação que dê suporte às aplicações, bem como a extensão territorial das áreas produtivas. Neste sentido, esta seção apresenta alguns recursos e conceitos da área de tecnologia da informação e comunicação com potencial capacidade de implementação nas soluções destinadas ao campo.

2.3.1 Redes de sensores sem fio (RSSF)

As RSSF, ou ainda, *Wireless Sensor Networks* (WSN), são uma tecnologia emergente que está sendo usada para coletar informações de vários fenômenos ambientais. O conceito de redes de sensores sem fio é o resultado do desenvolvimento tanto da tecnologia de chip de microeletrônica (tamanho, custo e tecnologia), quanto de tecnologias na área da informação e comunicação (REHMANI; PATHAN, 2016). Os requisitos de projeto, energia e protocolo para redes sem fio mudam de uma tecnologia emergente para outra.

Uma rede de sensor sem fio consiste em pequenos dispositivos chamados nós que possuem recursos de detecção e comunicação sem fio. Contudo, a coleta simultânea de dados de vários dispositivos e a comunicação entre eles é uma tarefa

desafiadora para as tecnologias de rede, como ZigBee, Wi-Fi, comunicação de campo próximo (NFC) e Bluetooth (REHMANI; PATHAN, 2016).

O padrão ZigBee (IEEE 802.15.4) define especificações da WPAN, com baixa taxa de transmissão de dados, para suportar dispositivos simples que consomem pouca energia e normalmente operam no espaço pessoal de 10 metros (LEE, 2006). Embora o ZigBee apresente as limitações quanto a taxa de transmissão (apenas 10-250Kbps), a distância limitada de transmissão (de 10 a 75 metros), a fraca capacidade de atravessar a barreira. Contudo, segundo Li *et al.* (2011), o ZigBee é utilizado na transmissão dos sensores, pois a interoperabilidade com outros dispositivos ocorre de forma nativa, facilitando o desenvolvimento e reduzindo os custos do projeto.

Os nós nas redes de sensores sem fio, podem detectar e coletar qualquer tipo de dados (áudio, vídeo, som, temperatura) e passá-los para um local central para fins de processamento e controle.

No projeto desenvolvido por Rehmani e Pathan (2016, p. 4):

Os sensores são implantados em uma região para uma tarefa específica, onde eles coletam os dados e os enviam para um local central conhecido como nó concentrador, caso exista demanda por detectar múltiplos fenômenos basta instalar um conjunto destes sensores.

Neste cenário há uma necessidade de ter dispositivos ou gateways específicos nas RSSF capazes de trocar informações geradas pela rede de sensores com o mundo externo. A tendência mais recente é usar o Protocolo de Internet (IP) para conectividade entre a Internet e uma determinada RSSF (VASSEUR; DUNKELS, 2010). Contudo para aplicações no campo, com baixa estrutura de comunicação, precisam encontrar alternativas como o uso de um único gateway para viabilizar a transmissão dos dados utilizando este protocolo.

2.3.2 Internet das coisas

Conforme Rehmani e Pathan (2016), a IoT pode ser descrita como uma rede de coisas interconectadas usando protocolos de comunicação padronizados. Devido ao baixo custo de implantação e operação das RSSF, surgiram várias aplicações para o monitoramento ambiental, saúde, agricultura, multimídia e aplicações domésticas inteligentes. Dois exemplos de utilização de RSSF para o monitoramento de

indicadores no solo são apresentados nos trabalhos Santos e Ramesh (2017) e Bennis *et al.* (2015).

O trabalho realizado por Santosh e Ramesh (2017) apresenta a instalação de uma rede de sensores para a detecção da temperatura, umidade do ar e do solo, esses parâmetros desempenham papéis importantes no rendimento das culturas. Nesse sentido, uma aplicação interdisciplinar que proporcione a integração de uma rede de sensores sem fio a esse campo da agricultura é uma tarefa desafiadora, onde o foco está na captura dos valores de umidade, temperatura, umidade, nível de pH, condutividade da água, etc.

O objetivo final do projeto de Santosh e Ramesh (2017), é o de controlar o fornecimento de água às plantas, sempre que necessário, dependendo dos valores de umidade. O sistema detecta onde a umidade é menor que o limite definido. Visando a utilização otimizada da água pelo sistema, frente a abordagem manual, pois se um agricultor estiver irrigando toda uma área cultivada na fazenda duas vezes por dia, então definitivamente haverá um grande desperdício de água. O sistema proposto funciona no princípio do escalonamento orientado por prioridades e sugere que através do sistema de irrigação automatizada é possível controlar o uso desnecessário de recursos naturais.

A proposta de Bennis *et al.* (2015) foi a construção de um sistema que utilizava uma rede sem fio distribuída com sensores de umidade e temperatura do solo, colocados na zona radicular das plantas. A unidade de *gateway* lida com as informações do sensor, aciona os atuadores e transmite dados para um aplicativo da web. Um algoritmo foi desenvolvido com valores limiares de sensores que foram programados em um *gateway* baseado em microcontrolador para controlar a quantidade de água.

O alto custo dos sensores e o requisito de implantação densa para obter dados em altas resoluções espaciais é atualmente uma restrição (BENNIS *et al.*, 2015). Para o funcionamento adequado de um sistema adaptativo de suporte à decisão com base em ferramentas de monitoramento, deve-se incluir uma combinação adequada de sensores de solo, clima e plantas. O sistema de apoio à decisão deve ser capaz de explicar as diferentes necessidades de água pela cultura em determinada estação, como resultado de fatores bióticos e abióticos (BENNIS *et al.*, 2015).

A IoT pode ser usada para várias aplicações na agricultura inteligente, a qual se concentra no monitoramento de solo e condições ambientais para maximizar o

rendimento e garantir a qualidade do produto (WARK *et al.*, 2007). Ainda para estes autores, os principais desafios deste domínio são operações em ambientes adversos e falta de infraestrutura adequada.

Em ambientes menores, como por exemplo, a estrutura de uma estufa para produção vegetal, as RSSF tradicionais podem ser eficientes. Muitas das soluções de IoT propostas esbarram na falta de infraestrutura de TIC e, para este trabalho também é um grande desafio conseguir cobrir uma vasta área garantindo a eficiência dos sensores na coleta e transmissão destes dados.

2.3.3 Computação em nuvem

Para Unhelkar (2018), a computação em nuvem representa um conjunto de dispositivos de armazenamento interconectados (servidores) disponibilizados por meio da conectividade da Internet com base em uma interface comum. Em função da nuvem permanecer fora dos limites físicos de uma organização, geralmente não há um data center local para manter os dados organizacionais.

Conforme apresentado por Unhelkar (2018, p. 350):

“A nuvem é elástica, oferecendo mais ou menos espaço de armazenamento de dados e outros recursos computacionais, dependendo das necessidades e do orçamento do usuário, representando os principais recursos de escalabilidade e compartilhamento que são de imensa importância no mundo do *Big Data*”.

A computação em nuvem é um compartilhamento de recursos, como memória ou processamento, em que um programa é executado em um servidor ou servidores conectados, em vez de estruturas locais ou dispositivos pessoais (REHMANI; PATHAN, 2016). A computação em nuvem tem muitas vantagens em relação ao modelo tradicional de cliente-servidor, como computação de alto desempenho, redução de custos de capital, menos manutenção, disponibilidade contínua e escalabilidade. Com a computação em nuvem, as organizações podem usar recursos de rede a baixo custo, o que aumenta sua eficiência.

Conforme apontam Dash *et al.* (2010, p. 51):

A computação em nuvem pode ser dividida em quatro modelos principais para diferentes cenários e requisitos de negócios:

- a) Nuvem privada: operada dentro de uma organização e gerenciada pela própria organização ou por terceiros. Não oferece alta eficiência de custo, mas fornece segurança;
- b) Nuvem pública: operada e de propriedade de terceiros. Reduz despesas de capital e custos operacionais;
- c) Nuvem comunitária: criada por várias organizações e gerenciada por uma ou mais dessas organizações ou por terceiros. Reduz o custo operacional de TI;
- d) Nuvem híbrida: combinação de nuvem privada e pública. Ele fornece segurança e reduz o custo operacional.

Para o presente trabalho, a computação em nuvem tem papel fundamental na camada de persistência dos dados, bem como no acesso e recuperação destes dados por qualquer dispositivo que possua um navegador de Internet, tendo em vista que o servidor de banco de dados será acessado de forma remota.

2.3.4 Microcontroladores e nós sensores

A IoT está tornando a computação e a comunicação pervasivas, móveis e fáceis de usar, graças a muitos microcontroladores e plataformas de microcontroladores (BANZI *et al.*, 2018). Contudo, ainda existem limitações, conforme sugerido por Navarro-Hellín (2015, p. 65):


Um dos aspectos mais importantes a considerar em um projeto composto por dispositivo para monitorar qualquer tipo de variável, deve ser a sua capacidade de abranger uma ampla gama de parâmetros significativos para a atividade monitorada, ainda, que o dispositivo ofereça a versatilidade necessária para o uso em uma ampla variedade de situações reais do ambiente.

Nesse cenário, uma alternativa a se considerar pode ser a adoção do Arduino, devido ao seu potencial de expansão através da integração com diversos sensores e módulos acessórios. Segundo Banzi *et al.* (2018), o Arduino oferece um ambiente de desenvolvimento integrado, o que de certa forma, facilita o gerenciamento, compilação, o *upload* (carregamento) de programas e a simulação da execução.

Conforme apresentado na Tabela 2, atualmente existem várias placas Arduino com diferentes parâmetros de desempenho, como o tamanho da memória RAM ou da memória flash, o número de pinos analógicos ou pinos digitais, além da velocidade do

clock. Dessa forma, quando o projeto exige um maior desempenho, a escolha pela placa mais adequada deve considerar a velocidade de processamento, geralmente expressa em mega-hertz (MHz). O mesmo se aplica para o consumo energético, dimensões da placa, número de portas e capacidade de armazenamento na memória interna e outras características de arquitetura.

Tabela 2 – Comparativo entre os principais modelos de placas Arduino

Placa Arduino	Nano	Uno	Mega	Due
Características				
Microcontrolador	Atmega 328 v.3	Atmega328	Atmega 2560	At91SAM3X8E
Portas Digitais	14	14	54	54
Portas Analógicas	6	6	15	12
Memória	16k - 2k <i>boot</i>	16k - 0,5k <i>boot</i>	256k - 4k <i>boot</i>	512k
<i>Clock</i>	16MHz	16MHz	16MHz	84MHz
Tensão Operação	5V	5V	5V	3.3V
Corrente Máxima	40mA	40Ma	40mA	130mA
Dimensões (mm)	45x18	68x53	101x53	104x53
Preço (US\$)	10.00	14.00	25.00	35.00

Fonte: Autor (2019).

Conforme visto na Tabela 2, e reforçado por Javed (2016), o Arduino possui vários modelos de placas, com especificações diferentes, com a possibilidade de adicionar uma *shield*, a qual expande as funcionalidades, como por exemplo, a capacidade de se conectar a uma rede Wi-Fi.

A vantagem em se utilizar o Arduino, conforme Soliman *et al.* (2013), está nas principais características apresentadas, como o baixo custo, ser multiplataforma, possuir um ambiente de programação simples, e o hardware extensível. O Arduino é uma plataforma de controle de hardware de código aberto, com seu próprio ambiente de desenvolvimento integrado (IDE).

O projeto de automação de ambiente apresentado por Soliman *et al.* (2013), utiliza a placa microcontrolada Arduino UNO para programar vários tipos de sensores/atuadores e tecnologias de comunicação, como RFID e ZigBee. A mesma solução pensada para este trabalho, pois possui o baixo custo, ao mesmo tempo que oferece um poder computacional para processar os dados coletados pelos nós sensores.

Para o presente trabalho foi utilizada a placa Arduino UNO R3, a qual utiliza o processador *core* ATmega328, com quatorze portas de entradas e saídas digitais, sendo seis delas, com suporte a saída de energia (PWM), outras seis entradas analógicas, suporte ao protocolo de comunicação I2C e SPI. Conforme relatado por Banzi *et al.* (2018), vários circuitos funcionais podem compor um projeto com Arduino, incluindo acionamento de motor, comunicação sem fio, reprodução de música e uma variedade de sensores (umidade, temperatura, velocidade, entre outros). Nesse sentido, a facilidade de integração do Arduino com diferentes componentes potencializa as suas funcionalidades, permitindo a aplicação em projetos dos mais variados escopos.

2.4 Persistência dos dados

Essa subseção trata do desafio em trabalhar com dados não estruturados, apresentando desde o formato de envio de mensagens dos nós sensores até o servidor de banco de dados. Serão apresentadas as técnicas e tecnologias envolvidas na camada local, bem como na camada remota baseada em computação em nuvem. Atualmente os dados apresentam uma variedade crescente de formas. Na perspectiva de Russom (2011), as tabelas alfanuméricas tradicionais estão sendo ultrapassadas na presença da crescente disponibilidade de fontes de dados menos estruturadas, como vídeos, imagens e textos produzidos por humanos. A plataforma SOX necessita atender essa variedade de dados em todas as etapas dos seus processos.

2.4.1 Formato JSON

Na plataforma SOX, a persistência de dados ocorre em duas etapas, a primeira consiste na gravação local, em um módulo de memória SSD e uma segunda etapa que grava no servidor de banco de dados disponível na nuvem (*cloud computing*).

Para que ocorra essa segunda gravação é demandado o acesso à rede de dados. Devido às restrições da arquitetura do microcontrolador que se pretende utilizar, com o poder de processamento limitado, capacidade de memória e largura de banda de comunicação, as mensagens geradas pelo sistema devem observar o tamanho ocupado em bytes e o volume de operações.

Conforme exposto por Doi (2012, p. 26):

“Embora o XML seja amplamente utilizado como formato de serialização de mensagens em sistemas heterogêneos baseados na Web, os nós de IoT, com restrição de recursos, nem sempre são capazes de executar o processamento XML completo devido a tais limitações”.

O JSON é uma sintaxe de representação de dados leve para armazenar e trocar informações de texto. É muito parecido com XML, porém, mais compacto, mais rápido e mais fácil de analisar.

Segundo Severance *et al.* (2012), na sintaxe JSON os atributos são gravados como pares: chave e valor. A criação de JSON em JavaScript oferece uma vantagem distinta sobre outros formatos de serialização, como XML, ao trabalhar com aplicativos parcialmente escritos nessa linguagem de programação.

2.4.2 Banco de dados

Em relação a SGBD tradicionais, a distribuição dos dados de forma elástica é inviabilizada pois o modelo de garantia de consistência é fortemente baseado no controle transacional ACID (*Atomicity, Consistency, Isolation and Durability*). Esse tipo de controle transacional é praticamente inviável quando os dados e o processamento são distribuídos em vários nós (VIEIRA, 2012).

Conforme Veen *et al.* (2012, p. 434):

“Pesquisas anteriores mostraram que o banco de dados *Not Only SQL* (NoSQL) é capaz de processar uma entrada e saída maciça de dados não estruturados de forma eficiente, além da facilidade em adicionar servidores à medida que o número de sensores ou clientes aumenta”.

Além disso, devido à natureza imperfeita do dispositivo de detecção e a fragilidade da rede, alguns dos dados coletados podem estar incompletos, gerando valores aberrantes (ZHUANG; CHEN, 2006). Ou seja, um banco de dados

convencional, estruturado, pode não suportar essa variabilidade dos parâmetros coletados pelos sensores e, ainda, não é capaz de ignorar os sensores que estejam desligados, já que exige o registro de algum valor relacionado a cada atributo e, nessa situação o zero pode acarretar na distorção da análise.

Quanto a capacidade de um sistema de dados distribuído de atender demandas, foi criado o teorema CAP. Conforme apresentado por Brewer (2010) é possível obter na maioria das vezes, duas das três propriedades em tal sistema de dados compartilhados: consistência (C), disponibilidade (A) e tolerância a partições de rede (P). A partir desse teorema, os produtos NoSQL utilizam o paradigma BASE (*Basically Available, Soft-state, Eventual consistency*) para o controle de consistência, o que conseqüentemente traz uma sensível diminuição no custo computacional para a garantia de consistência dos dados em relação a SGBD tradicionais.

O banco de dados SQL tradicional tem várias limitações no processamento de grandes quantidades de dados não estruturados e, para superar este problema, as tecnologias de banco de dados NoSQL foram desenvolvidas. Neste sentido, o MongoDB² pode ser uma boa alternativa, pois é um banco de dados NoSQL de código aberto.

Conforme apresentado por Chodorow (2013, p. 21).

“O MongoDB é um banco de dados orientado a documentos, de código aberto, lançado em 2007 e fornece um armazenamento de chave-valor, capaz de gerenciar coleções de documentos BSON (JSON binários). É útil quando se trabalha com uma enorme quantidade de dados e quando a natureza dos dados não requer um modelo relacional. Ele foi projetado para ser executado em servidores comuns e inclui uma poderosa linguagem de consulta, a qual permite que as expressões regulares e funções em JavaScript sejam passadas como verificações de chaves e valores correspondentes”.

Frente ao cenário exposto e considerando os resultados das pesquisas apresentadas, o MongoDB se mostra uma ótima opção para suportar a persistência dos dados coletados por sensores ambientais, conforme proposto nesse trabalho. Viabilizando a inserção de novos sensores e a desativação sem que haja a necessidade de alteração na estrutura do banco.

² MONGODB. **MongoDB download center**. [S. l., s.n.]. Disponível em: <https://www.mongodb.com/>. Acesso em: 13 jan. 2019.

2.4.3 *Big data*

Uma importante razão para a crescente disponibilidade de informações é a proliferação de dispositivos pessoais conectados à Internet e equipados com sensores embarcados.

Conforme relatado por De Mauro *et al.* (2016, p. 125):

“Sensores representam uma fonte promissora de informações na era do *Big Data* e tornam a digitalização possível, enquanto a conexão de rede permite que os dados sejam coletados, transformados e, em última instância, organizados como informações”.

Segundo D’Andrea (2010), estes conjuntos de dados que crescem exponencialmente são chamados *Big Data* e demandam de novas características de banco de dados devido ao seu elevado volume, brutalidade ou desestruturação. Isso impõe desafios a várias áreas da computação, em questões ligadas a forma de manipulação, armazenamento e processamento de consultas, principalmente quando aplicadas as técnicas de mineração de dados e de recuperação dessas informações.

Na visão de Wolfert (2017, p. 74):

Devido à rápida evolução na área de tecnologia da informação, é difícil fornecer uma definição unificada de *Big Data*, mas geralmente é um termo para conjuntos de dados tão grandes ou complexos que os aplicativos de processamento de dados tradicionais são inadequados.

A estrutura de *Big Data* requer um conjunto de técnicas e tecnologias com novas formas de integração para revelar *insights* de conjuntos de dados que são diversificados, complexos e de grande escala (HASHEM *et al.*, 2015).

O *Big Data* representa os ativos de informação caracterizados por um volume, velocidade e variedade tão altos que exigem tecnologia específica e métodos analíticos para sua transformação em valor (DE MAURO *et al.*, 2016). No agronegócio o cenário não é diferente, pois conforme aponta a pesquisa realizada por Wolfert *et al.* (2017) o escopo dos aplicativos *Big Data* no *Smart Farming* vai além da produção primária; está influenciando toda a cadeia de suprimentos de alimentos. O *Big Data* é utilizado para fornecer *insights* preditivos em operações agrícolas, impulsionar decisões operacionais em tempo real e redesenhar processos de negócios para modelos de negócios que mudam o jogo.

A constatação de Wolfer *et al.* (2017, p. 74) aponta que:

Após a análise de vários trabalhos na área de *Smart Farming*, sugerem que o *Big Data* causará grandes mudanças nos papéis e nas relações de poder entre os diferentes atores nas redes atuais da cadeia de suprimentos de alimentos.

A Tabela 3 apresenta uma síntese produzida por Wolfer *et al.* (2017), referente a revisão de literatura dos trabalhos que tratam da coleta, armazenamento, transferência, transformação, análise e marketing dos dados obtidos através da agricultura inteligente.

Tabela 3 – Estado da arte das aplicações de *Big Data* para agricultura inteligente

Fases na Cadeia de Dados	Estado da Arte	Assuntos-chave
Coleta	Sensores, dados abertos, dados capturados por VANTs; Sensor biométrico, informação genotípica, equivalência de dados	Disponibilidade, qualidade, formatos
Armazenamento	plataforma baseada em nuvem, Hadoop <i>Distributed File System</i> (HDFS), sistemas de armazenamento híbrido, <i>data warehouse</i> – nuvem	Acesso rápido e seguro aos dados e custos
Transferência	Plataforma sem fio baseada em nuvem	Segurança, acordos sobre responsabilidades e obrigações
Transformação	Algoritmos de aprendizado de máquina, normalização, visualização e anonimização	Heterogeneidade de fontes, automação de limpeza/preparação dados
Análise	Modelos de rendimento, instruções de plantio, <i>benchmarking</i> , Ontologias de decisão, computação cognitiva	Heterogeneidade semântica, análise em tempo real, escalabilidade
Marketing	Visualização de dados	Propriedade, privacidade, novos modelos de negócios

Fonte: Adaptado de Wolfert *et al.* (2017).

Uma longa lista de questões-chave já foi fornecida na Tabela 3, mas os pontos mais importantes são apresentados por Wolfert *et al.* (2017, p. 78), conforme segue:

- a) Propriedade de dados e questões de privacidade e segurança relacionadas - essas questões devem ser abordadas de maneira adequada, mas quando isso é aplicado com muita precisão, isso também pode retardar as inovações;
- b) Qualidade de dados - que sempre foi uma questão-chave nos sistemas de informação de gerenciamento de fazendas, mas é mais desafiadora com grandes dados em tempo real; Processamento e análise inteligentes - para o Big Data, isso também é mais desafiador devido à grande quantidade de dados heterogêneos, muitas vezes não estruturados, que exigem uma interação inteligente entre cientistas de dados qualificados e especialistas em domínio;
- c) Integração sustentável de fontes de Big Data - a integração de muitas fontes de dados diferentes é um desafio, mas como isso é crucial para o seu modelo de negócios, isso tem que ser feito de maneira sustentável;
- d) Modelos de negócios que são atraentes o suficiente para provedores de soluções, mas que também permitem uma participação justa entre as diferentes partes interessadas;
- e) Abertura de plataformas que irão acelerar o desenvolvimento de soluções e a inovação em geral, mas também capacitar os agricultores em sua posição nas cadeias de suprimentos.

Desta forma, é necessário considerar as características de um cenário de *Big Data*, pois há perspectiva de um grande volume de dados gerados a partir dos sensores instalados em diferentes ambientes. Em tal cenário a alta disponibilidade e a escalabilidade são fatores chave para suportar o sistema e garantir sua sustentação, a coleta, armazenamento, transferência, transformação, análise e visualização dos dados podem criar gargalos e comprometer as características planejadas para a plataforma.

2.5 Teste de software

Os testes também fazem parte dos procedimentos seguidos para garantir a qualidade do processo de desenvolvimento de softwares. Neste sentido, Andrade e Viana (2012, p.1) apresentam que:

No ciclo de desenvolvimento de softwares, a realização de testes tem espaço desde a fase de *design* até o lançamento do produto. Os testes conferem confiabilidade ao software, reorientam o desenvolvimento do design do código, e poupam gastos desnecessários, quando detectam erros nas fases iniciais do desenvolvimento de um software.

Contudo, algumas funcionalidades do sistema podem apresentar requisitos menos óbvios de avaliar, conforme apontam Koscianski e Soares (2007), referente a ISO/IEC 9126, que determina que seja estabelecido um escopo quando se faz a definição de funcionalidades de um programa para que a operação seja considerada bem-sucedida.

Nesse viés, as atividades de projeto de teste devem ser executadas de maneira planejada, a fim de atender alguns critérios: (i) técnicos, como eficácia e, (ii) econômicos, como produtividade (NAIK; TRIPATHY, 2008). Sob tais critérios, a plataforma SOX pode ser testada quanto à capacidade de carga, visando mensurar e eficácia. Já no viés da produtividade, o teste pode considerar o número de acessos concorrentes ao sistema, pois indica um potencial de compartilhamento da infraestrutura, principalmente na camada remota.

Outro importante teste, diz respeito a eficiência, avaliada através da capacidade do sistema em manter a estabilidade quando exposto a condições extremas. Segundo Koscianski e Soares (2007), o teste de estresse baseia-se em testar os limites do software e avaliar seu comportamento e, até quando ele poderá ser exigido, apresentando as falhas, quando existirem, decorrentes do teste.

Os testes de software são projetados e realizados de acordo com o tipo de software e as necessidades que ele irá atender, para tal é criado um plano de testes. Conforme Andrade e Viana (2012), o plano contém informações importantes sobre os objetivos do teste, as partes do software a serem testadas, os critérios de aceitação e os passos necessários para a execução. O padrão adotado para a criação dos planos de teste é o IEEE 829, conhecido como “*829 Standard for Software and System Test Documentation*”.

Ao finalizar a bateria de testes do software, conforme sugerem Andrade e Viana (2012), o registro das lições aprendidas durante os testes realizados é um material de consulta muito útil, especialmente para pessoas que não participaram dessa etapa e para testadores com menos experiência na área. O registro dos resultados obtidos nos testes pode contribuir com eventuais reparo e replanejamento durante o desenvolvimento. Conforme apontam Andrade e Viana (2012), a compilação dos resultados dos testes bem-sucedidos são um indicativo relevante da confiabilidade daquele software.

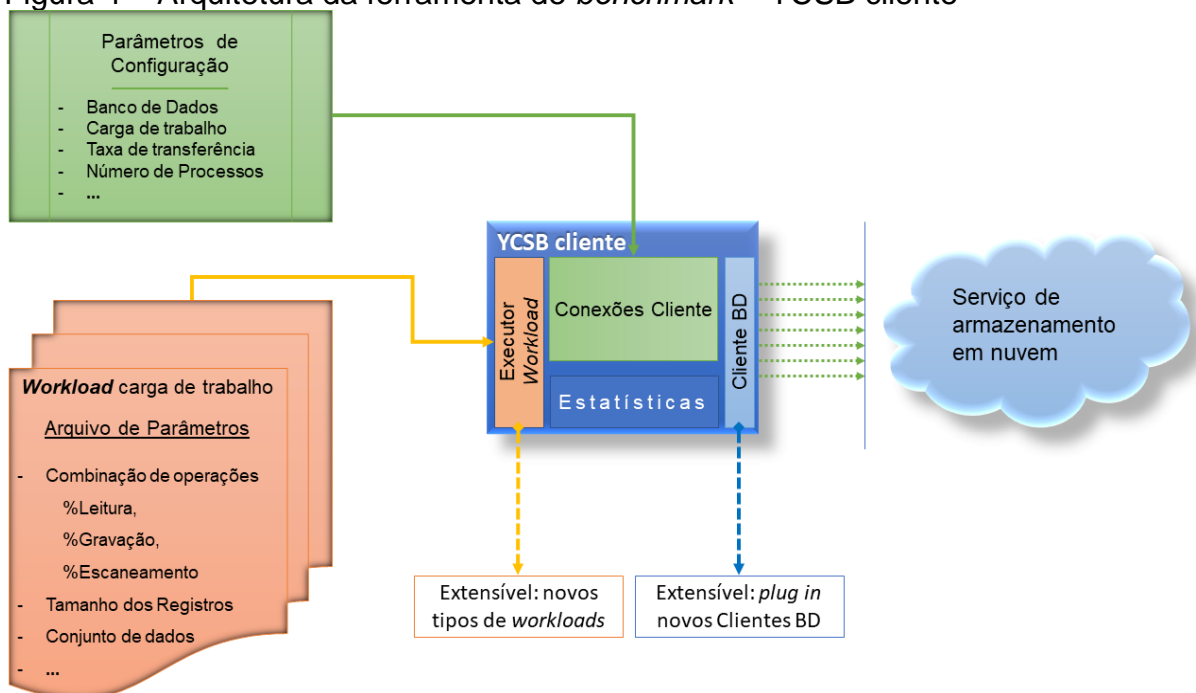
O próximo capítulo apresenta o processo de seleção de trabalhos que apresentam alguma similaridade com a arquitetura oferecida pela plataforma SOX.

Expondo as principais características técnicas e as suas contribuições ao agronegócio. No fechamento do capítulo é realizado um comparativo entre as ferramentas elencadas e a plataforma SOX, com intuito de evidenciar as contribuições e inovação presentes nesse trabalho.

2.6 Ferramenta de *benchmark* YCSB

A utilização da ferramenta de *benchmark* oferece vantagens ao criar um ambiente controlado de testes e com carga de trabalho equivalente aos dados do cenário real, pois conforme apresentado na Figura 4 é possível configurar o tipo de operações, o volume de dados e o formato desses dados. Conforme apresenta Koscianski e Soares (2007), a grande dificuldade de realizar alguns testes de performance é configurar adequadamente a plataforma de execuções, para tal, utilizam-se ferramentas de estresse.

Figura 4 – Arquitetura da ferramenta de *benchmark* – YCSB cliente



Fonte: Adaptado de Cooper *et al.* (2010).

Conforme exposto na Figura 4, a ferramenta de *benchmark* implementa uma camada de interface do banco de dados. Tal camada consiste em uma classe Java que executa a leitura, inserção, atualização, exclusão e varredura de chamadas geradas pelo cliente YCSB à API do banco de dados.

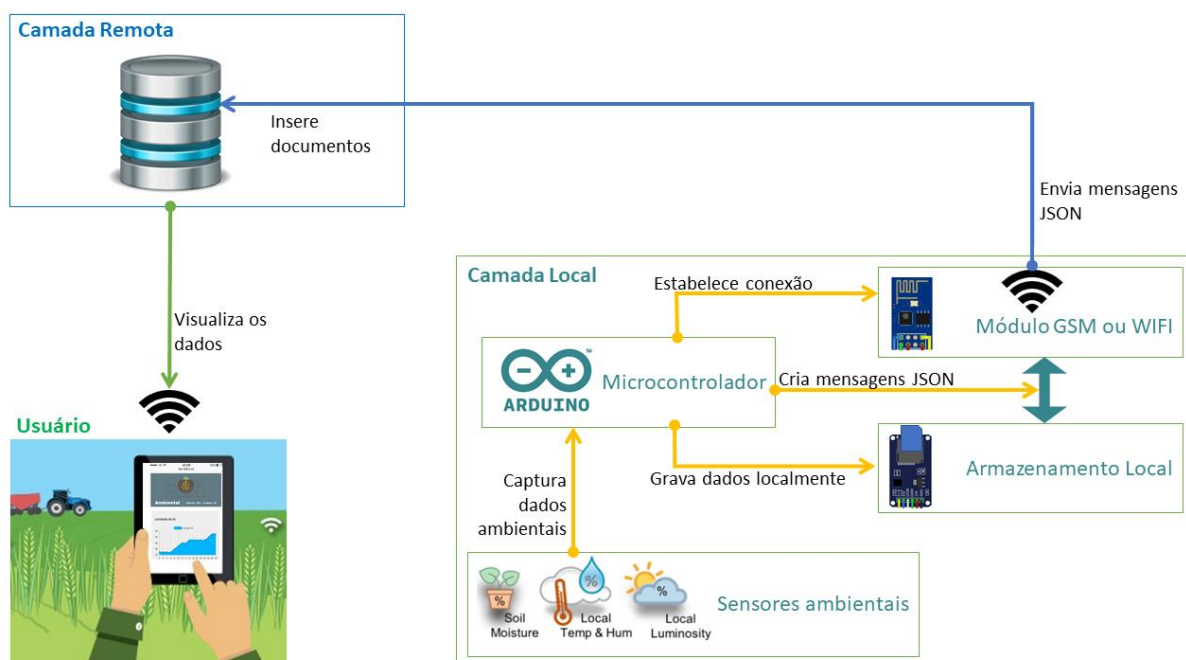
Como a carga de trabalho (*workload*) é responsável pela definição dos dados que serão inseridos no banco durante a fase de carregamento, bem como as operações que serão executadas no conjunto de dados durante a fase de transação, as cargas de trabalho têm duas fases executáveis: a fase de carregamento que define os dados a serem inseridos e a fase de transações que define as operações a serem executadas em relação ao conjunto de dados. A ferramenta YCSB é utilizada para a realização dos casos de teste 3 e 4, referentes, respectivamente, aos acessos concorrentes de usuário no MongoDB e de desempenho do MongoDB rodando em um servidor Raspberry Pi.

2.7 Esboço da plataforma SOX

A Figura 5 apresenta um esboço do funcionamento planejado para a plataforma SOX, onde é exposta a captura dos dados correspondentes as variáveis ambientais da área produtiva e o armazenamento desses valores em um dispositivo de armazenamento local. A etapa seguinte visa estabelecer uma conexão da camada local com a remota, o que ocorre através de uma conexão com a Internet, a qual pode acontecer através de uma rede WIFI ou GPRS, dependendo do sistema de comunicação implementado na solução.

Uma vez estabelecida conexão entre as camadas da plataforma, ocorre o envio dos documentos no formato de mensagens JSON. O documento é criado e contém os valores ambientais, esses estarão automaticamente disponíveis ao usuário da aplicação, que pode ser tanto o agricultor quanto o consultor técnico.

Figura 5 – Esquema de funcionamento da plataforma SOX



Fonte: Autor (2019).

Para visualizar os dados armazenados no banco, o usuário necessita apenas abrir o navegador do dispositivo computacional e acessar o endereço eletrônico da plataforma. Os gráficos são plotados e atualizados automaticamente, sem a necessidade de qualquer intervenção.

O desafio na construção dessa plataforma está na integração das tecnologias apresentadas no capítulo 2, bem como na obtenção das variáveis ambientais trazidas à luz durante a revisão de literatura. Para auxiliar na definição da arquitetura proposta, no estudo da viabilidade técnica e econômica serão analisados os trabalhos correlatos expostos no capítulo 3. Os correlatos permitem também, a identificação de possíveis lacunas e a proposição de uma solução com maior completude frente as disponíveis no mercado.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Este capítulo analisa trabalhos relacionados ao modelo proposto, levando em consideração pesquisas acadêmicas. Na análise, foram incluídas publicações semelhantes a solução apresentada nessa pesquisa, mediante critérios que são especificados na seção 3.1. Da seção 3.2 até a 3.5 são apresentados os trabalhos selecionados para análise. Na seção 3.6 é utilizada uma pesquisa que aponta as características presentes em soluções de IoT destinadas à agricultura. Na seção 3.7 é realizada uma comparação entre os trabalhos considerando as características descritas na seção anterior.

3.1 Critérios para escolha dos trabalhos

Os trabalhos foram selecionados com pesquisas nas bases de periódicos da CAPES, SciELO, Scholar – Google acadêmico, Elsevier – *Science Direct*, IEEE – Xplore, ACM – *Digital Library*. Tais pesquisas foram baseadas na junção obrigatória de sinônimos de termos, com a seguinte expressão: “*low cost*” e “*environmental monitor*” ou “*field monitoring*” e “*precision agriculture*” ou “*smart agriculture*”, desta forma o critério para seleção do trabalho foi conter, obrigatoriamente, pelo menos um dos termos indicados entre parênteses.

A escolha dos trabalhos levou em consideração se estes incorporam o uso de sensores e se as pesquisas foram publicadas nos últimos três anos, no intervalo de 2015 a 2018. Após as buscas nas bases citadas, os trabalhos foram submetidos a um comparativo, com base nos critérios: custo, camadas de persistência, transmissão e apresentação dos dados. Nas próximas seções são apresentados os trabalhos selecionados.

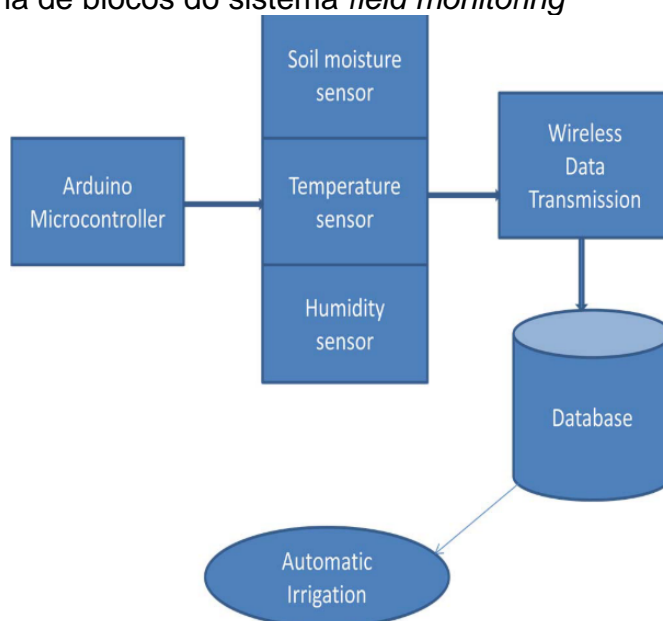
3.2 Field monitoring using IoT in agriculture

O modelo de monitoramento ambiental proposto por Jha *et al.* (2017), apresenta uma ferramenta para o monitoramento da umidade do solo e temperatura usando dispositivos IoT. Conforme exposto na Figura 6, onde um indivíduo pode realizar uma ação imediata para gerenciar o campo, com base nos dados recebidos. Para tal, foi utilizada uma placa Arduino com sensores de solo, temperatura e umidade

capazes de coletar remotamente os dados do campo. Uma vez recebidos, os dados são analisados e discutidos. Este trabalho viabiliza as ações preventivas para reduzir as perdas de culturas e conseqüentemente aumentar a produtividade.

A arquitetura é tal que, com o clique de um botão, o agricultor é capaz de não apenas monitorar os dados, mas também tomar medidas oportunas. O sistema pode acionar a casa de bombas, que normalmente está localizada remotamente. A configuração é realizada através de uma interface ligada ao sistema de partida da bomba e os sensores estão conectados em vários pontos no campo para a aquisição dos dados. Utilizando este sistema, o agricultor pode acionar a bomba manualmente a partir de sua casa, bem como o sistema é capaz de ligar automaticamente a bomba quando colocado no modo automático.

Figura 6 – Diagrama de blocos do sistema *field monitoring*



Fonte: Jha *et al.* (2017).

Nas considerações finais do trabalho elaborado por Jha *et al.* (2017, p. 1420) é apresentado que:

O monitoramento ambiental com base na IoT mostrou-se um sistema confiável e rápido que ajuda os agricultores a monitorar o campo com eficiência. Isso os ajuda a tomar medidas corretivas para a proteção e melhoria no rendimento da cultura. Monitorar os campos de vegetação de locais distantes não só ajuda na melhor utilização da mão de obra, mas também na qualidade da cultura. Os dados coletados podem ser usados para planejar as estratégias para obter melhor saída no futuro.

Nesse sentido, o monitoramento de variáveis ambientais através de sensores é confiável e estável. Oferecendo melhores rendimentos das culturas e o uso mais eficiente dos recursos ecológicos prestados pelo solo.

3.3 Cloud based data analysis and monitoring of smart multi-level irrigation system using IoT

No artigo de Salvi *et al.* (2017) foi projetado um sistema com arquitetura dividida em três níveis, conforme Figura 7. No primeiro nível um conjunto de nós sensores estão interligados a um concentrador. No segundo nível esse nó centralizado está conectado a um servidor na nuvem (*Cloud Server*), onde os dados recebidos serão armazenados e processados. O terceiro nível trata da análise e monitoramento de dados baseados em nuvem, o que permite ao usuário a administração do sistema de irrigação através da Internet, fornecendo acesso onipresente.

Figura 7 – Estrutura multinível do sistema *smart irrigation*



Fonte: adaptado de Salvi *et al.* (2017).

Conforme exposto na Figura 7, o projeto utiliza duas soluções de software para a visualização dos valores ambientais registrados. O *ThingSpeak*³ *Cloud* que é uma plataforma *open source* de IoT para armazenar e recuperar dados de “coisas” usando

³ GOOGLEPLAY. **ThingSpeak viewer**. [S. l., s.n.]. Disponíveis em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cinetica_tech.thingview. Acesso em: 10 jun. 2019.

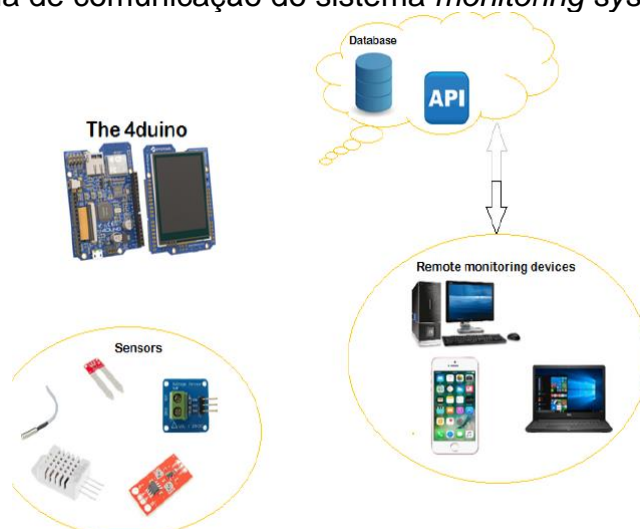
o protocolo HTTP através da Internet. Já o *ThingView App* permite a visualização de canais *ThingSpeak* de uma maneira fácil, basta informar o identificador do canal. Esse aplicativo permite que o público visualize os valores armazenados pelos sensores em escala de tempo e com variados tipos de gráficos. Embora o projeto não tenha foco na visualização dos dados, mas sim, em sensores atuadores, pois interagem com o ambiente, a agregação dos dois produtos de software oferece uma alternativa à visualização dos valores coletados no ambiente. Esta solução teve como objetivo tratar da disponibilização de água em volumes e intervalos adequados à cultura. Os resultados experimentais mostram redução no consumo de água e melhor aproveitamento de energia (SALVI *et al.*, 2017).

3.4 Development of a cloud-based monitoring system using Arduino: applications in agriculture

Os autores apresentam a importância de um sistema baseado em nuvem visando a ampliação das funcionalidades e eficácia na agricultura. O qual pode servir como um método para enfrentar e sustentar a produção de alimentos.

Segundo Adetunji e Joseph (2018) foi implementada uma abordagem compacta, usando Arduino e sensores relevantes para obter transferência de dados para nossa plataforma de nuvem. A Figura 8 apresenta o modelo implementado para a coleta de dados.

Figura 8 – Diagrama de comunicação do sistema *monitoring system*



Fonte: Adaptado de Adetunji; Joseph (2018).

O modelo proposto é capaz de coletar os dados referentes a umidade do solo (porcentagem de umidade volumétrica), a umidade, a temperatura ambiente, o ponto de orvalho e a temperatura do solo. Estes valores coletados foram utilizados como variáveis de monitoramento e guardados em uma estrutura de computação em nuvem implementada para o setor agrícola.

3.5 A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management

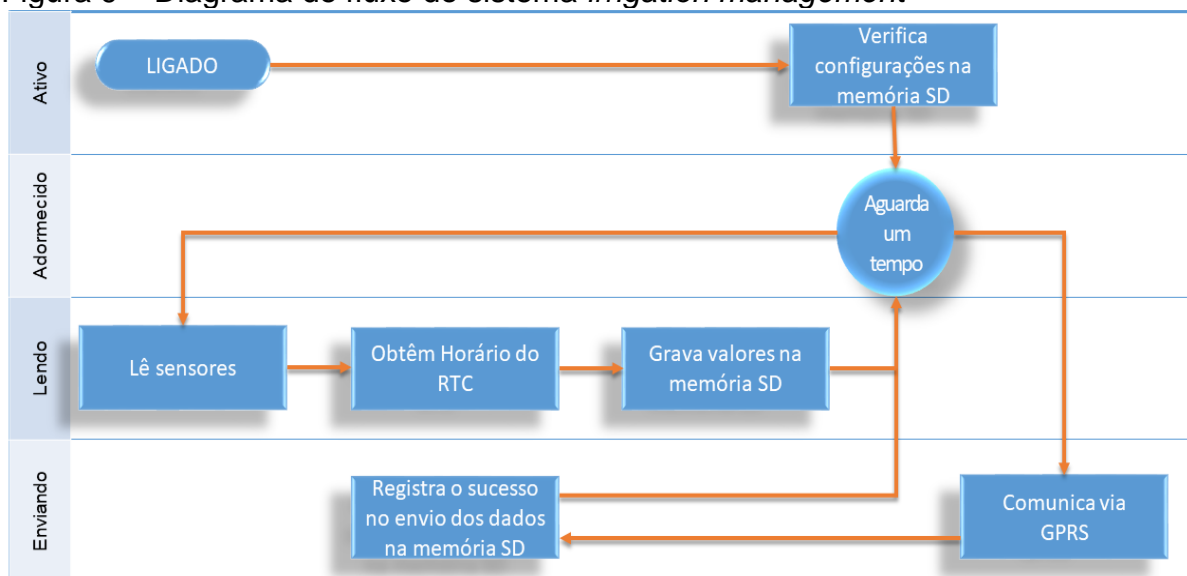
O sistema proposto nesse trabalho utiliza tecnologias de informação e comunicação, permitindo ao usuário consultar e analisar as informações obtidas por diferentes sensores de qualquer dispositivo (computador, celular ou *tablet*) de forma fácil e confortável. A arquitetura proposta é baseada em diferentes nós wireless equipados com conectividade através da rede de dados móveis ou tecnologia GPRS.

Cada nó sem fio é completamente autônomo, onde diferentes sensores comerciais para medir a ampla gama de parâmetros do solo, planta e atmosfera, podem ser conectados. Os dados são enviados e processados em um servidor remoto, que armazena as informações dos sensores em um banco de dados, permitindo consultas e análises de dados adicionais de maneira simples e versátil. Nesse projeto as informações dos sensores conectados ao dispositivo são periodicamente enviadas para um servidor de dados, onde são processadas e armazenadas em um banco de dados relacional.

Nos testes realizados por Navarro-Hellín (2015), a taxa de amostragem foi ajustada para 15 minutos e a taxa de envio para 30 minutos. Tais taxas foram suficientes às decisões agrônômicas nesse contexto de aplicação. O intervalo de transmissão dos dados pode imprimir maior eficiência energética ao sistema proposto.

A arquitetura de software, apresentada na Figura 9, referente ao servidor de dados, a qual é baseada em três componentes principais: (1) um aplicativo desenvolvido em Java, responsável pela comunicação com os nós, (2) um banco de dados relacional que armazena os dados e (3) uma aplicação web para verificar as informações dos sensores.

Figura 9 – Diagrama de fluxo do sistema *irrigation management*



Fonte: Adaptado de Navarro-Hellín (2015).

Conforme reportado por Navarro-Hellín (2015, p. 74):

[...] em suas considerações finais, referentes ao sistema criado para controlar a irrigação utilizando sensores e atuadores, foi relatado a dificuldade em adaptar o sistema aos sensores comerciais e às distintas interfaces disponibilizadas pelos fabricantes. Ressalta, ainda, que a taxa de amostragem dos sensores e a taxa de envio ao utilizar uma conexão GPRS são importantes para estimar o consumo de energia do sistema.

A metodologia utilizada para coleta de amostras e de transmissão é algo que precisa ser considerado em sistemas que possuem maior dependência de fontes auxiliares de energia elétrica, bem como quando o tipo de conexão de dados para transmissão dos valores coletados estiver baseado na tecnologia GPRS.

3.6 A survey: smart agriculture IoT with cloud computing

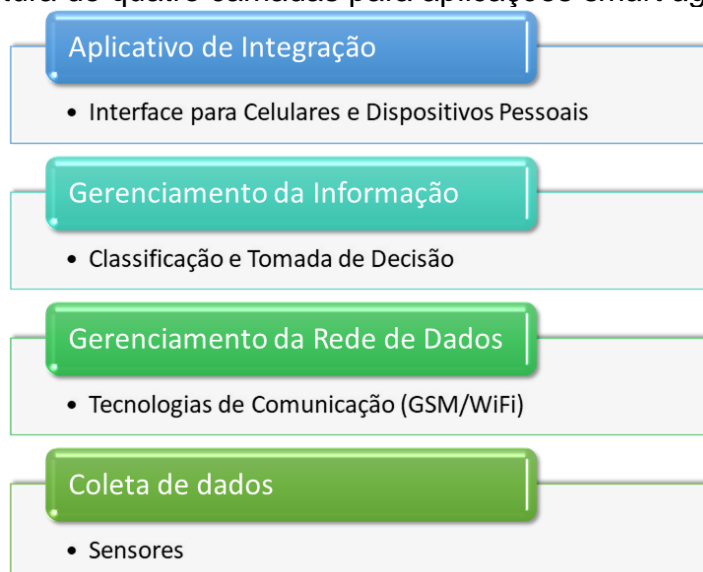
Esta pesquisa elencou algumas características típicas das aplicações de rede de monitoramento, utilizando sensor voltados à Agricultura e que utilizam a computação em nuvem. Segundo Mekala e Viswanathan (2017), esta pesquisa apresenta as diferentes tecnologias aplicadas para construir uma agricultura inteligente e sustentável.

A arquitetura presente em soluções de IoT destinadas à agricultura normalmente implementam uma camada de aplicação integrada, considerada como a

camada de interface com o usuário, a qual inclui telefones celulares e dispositivos pessoais dos agricultores para monitorar a área de produção. Serve para que os agricultores possam tomar a decisão de proteger sua cultura de forma sustentável e que obtenham uma melhor produção de alimentos.

A segunda camada é de gerenciamento de informações que contém algumas responsabilidades, como formação e classificação de dados, criação, monitoramento, tomada de decisão, etc. A terceira é a camada de gerenciamento de rede que representa as tecnologias de comunicação como Gateway, RFID, GSM, *Wi-fi*, 3G, UMTS e Bluetooth *Low Energy*, ZigBee etc. A quarta camada é a camada de coleta de informações que contém todos os tipos de sensores, câmeras etc. Estes são usados para coletar informações da cultura facilitando o monitoramento ambiental da área agrícola. A Figura 10 mostra a estrutura de IoT de quatro camadas.

Figura 10 – Estrutura de quatro camadas para aplicações *smart agriculture*



Fonte: adaptado de Mekala; Viswanathan (2017).

Em cada método, por padrão, os processos são compostos pela implantação de vários sensores na área de cultivo para medir os parâmetros ambientais, tais como a temperatura, umidade, pH do solo, intensidade da luz.

A conclusão apresentada por Mekala e Viswanathan (2017, p.7) aponta que:

É necessário desenvolver uma arquitetura Agro-IoT ideal, a qual tenha como características o baixo custo, baixo consumo de energia dos dispositivos e, que auxilie no processo de tomada de decisão, apresentando uma qualidade no serviço QoS, com ótimo desempenho e fácil entendimento do agricultor, mesmo que este detenha um baixo domínio tecnológico.

Nesse sentido, arquitetura utilizada pela solução precisa considerar aspectos tecnológicos e econômicos, bem como atentar para a entrega de informações adequadas e úteis à tomada de decisão por parte do agricultor.

3.7 Análise comparativa entre os trabalhos

Nesta seção será realizada uma comparação entre os trabalhos selecionados como correlatos, utilizando os parâmetros apresentados na pesquisa de Mekala e Viswanathan (2017). Para tal, a Tabela 4 aponta a presença ou não do atributo e, ainda, quando possível, a descrição mais detalhada da solução implementada naqueles trabalhos. As características abordadas são referentes: à visualização dos dados em uma interface com o usuário; ao apoio na tomada de decisão; ao tipo de banco de dados oferecido pela aplicação; ao padrão de armazenamento dos dados, estruturado, não estruturado ou orientado à documentos; à forma de comunicação dos dados; ao modelo dos sensores utilizados, atuadores ou de coleta dos parâmetros ambientais.

Tabela 4 – Comparativo das características presentes nos trabalhos selecionados

Referências	Interface de visualização dos dados	Apoio à Tomada de Decisão	Padrão e Banco de Dados ⁴	Comunicação de Dados ⁵	Tipo Shield ⁶
JHA <i>et al.</i> , 2017	Não	Sim	E - Sim	C – WiFi	1; 2; 3
SALVI <i>et al.</i> , 2017	Não	Sim	N - Não	C – WiFi	1; 2; 3
ADETUNJI; JOSEPH, 2018	Sim	Não	E - Sim	C - WiFi	1; 2
NAVARRO-HELLÍN, 2015	Sim	Sim	N - Não	I - GSM	1; 2; 3
Plataforma SOX	Sim	Sim	D - Sim	I - GSM	1; 2

Fonte: Autor (2019).

Conforme observado na Tabela 4, cada solução apresenta uma implementação distinta e atende a um conjunto de requisitos diferente. A solução proposta por Salvi

⁴ Padrão do Banco: D – orientado a documentos (NoSQL); E – estruturado (SQL); N – não se aplica.

⁵ Transmissão dos Dados: C – contínua; I – intermitente.

⁶ Tipo de shield: 1 – umidade do solo; 2 – temperatura; 3 – atuador.

et al. (2017), embora ofereça uma interface para a visualização dos dados, não foi considerada na Tabela 4. Isso devido a solução utilizar uma aplicação *open source*, genérica, desenvolvida por terceiros, destinada à visualização de qualquer dado gerado a partir de sensores.

Os aplicativos demandam de instalação e, assim, exigem a utilização de um dispositivo computacional com sistema operacional Android, consumindo recursos e necessitando de *download* na loja de aplicativos. Outro limitante do projeto está a cargo da nuvem onde os dados são registrados, pois também é um serviço de terceiros, o qual exige a configuração e compatibilização com o aplicativo para que os valores sejam visualizados.

A proposta de Navarro-Hellín (2015) abrange a maior parte das características desejáveis em uma solução IoT aplicada ao agronegócio. Oferecendo uma interface com o usuário da aplicação, auxilia na tomada de decisão, possui uma persistência local dos dados, de forma temporária e, a persistência remota, utilizando a transmissão através da rede GSM.

O sistema possibilita a manipulação de sensores para a coleta de dados, bem como atuadores. As demais soluções utilizam rede de dados WiFi, ou seja, demandam de uma estrutura de comunicação local, contudo essa estrutura garante uma comunicação contínua dos dados, sem a preocupação com o volume de dados transmitidos e, também, com o consumo energético demandado nessa transmissão. Ainda, é possível observar que estas soluções implementadas com a rede de dados WiFi não possuem uma camada de persistência local dos dados coletados.

A plataforma SOX, proposta neste trabalho, oferece uma estrutura que abrange as características descritas no trabalho de Mekala e Viswanathan (2017), as quais são desejáveis em uma ferramenta de IoT, com recursos em *cloud computing*, destinada à agricultura inteligente. Oferecendo uma interface acessível a qualquer dispositivo computacional e auxiliando à tomada de decisão, através dos dados armazenados de forma organizada, em uma base de dados.

Esses requisitos apresentados garantem a coleta e visualização dos dados ambientais, praticamente, em tempo de execução. Mas o grande diferencial frente aos demais trabalhos analisados está a cargo do sistema gerenciador de banco de dados orientado a documentos, algo que pode facilitar a integração desta solução de coleta de parâmetros ambientais com imageamento de áreas produtivas georreferenciadas,

bem como, com a tolerância a alta variabilidade de sensores, inclusive, suportando os desligamentos temporários sem causar distorções na fase de análise dos dados.

Por fim, os trabalhos correlatos que compõem esta revisão corroboram com a importância da temática apresentada nesse trabalho, bem como com o potencial da plataforma, pois pode contribuir com os pesquisadores na aplicação do conceito da agricultura inteligente na região da Campanha Gaúcha e, conseqüentemente, na construção de uma volumosa base de dados que futuramente sirva às pesquisas de mineração de dados e estatística.

Frente aos desafios explanados até o momento, o capítulo 3 apresenta o esquema metodológico utilizado na construção da plataforma SOX. Onde são detalhadas as etapas envolvidas desde a concepção da arquitetura, passando pela integração dos recursos tecnológicos, validações dos dados, e testes de desempenho.

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a classificação da pesquisa científica, bem como descreve a metodologia utilizada na concepção do software. Onde estão elencadas as etapas do método e as respectivas atividades executadas para atender aos objetivos desse trabalho.

4.1 Classificação

A pesquisa, no contexto científico, também pode ser classificada de acordo com diferentes critérios. Entre eles, é possível diferenciar tipos de pesquisa de acordo com sua natureza, objetivos ou procedimentos técnicos (WAZLAWICK, 2010). Para melhor compreensão do cenário atual da análise de qualidade do solo, bem como do uso de tecnologias na agricultura foi realizada uma pesquisa bibliográfica, tendo como intuito o de entender sobre quais pontos este trabalho pode contribuir, tanto do aspecto tecnológico quanto científico.

Conforme aponta Severiano (2017), a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses. O trabalho de pesquisa é realizado a partir das contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes nos textos. Assim, o presente trabalho possui a seguinte classificação de pesquisa:

- a) da natureza dos dados: trata-se de uma abordagem quantitativa, tendo como objetivo o de compreender os processos do solo através de medições e coleta massiva de dados numéricos, obtidos com o uso de sensores instalados *in situ*;
- b) da finalidade: a pesquisa será aplicada, pois pretende-se investigar os parâmetros do ambiente que impactam na qualidade do solo e gerar uma informação que auxilie o técnico a perceber alterações no ambiente;
- c) do tipo: a pesquisa é explicativa, pois além de registrar fatos pretende-se fazer uma análise, interpretação e auxiliar na identificação dos processos;
- d) da origem dos dados: os dados serão coletados através da plataforma construída neste trabalho, por meio de diferentes sensores instalados na área produtiva;

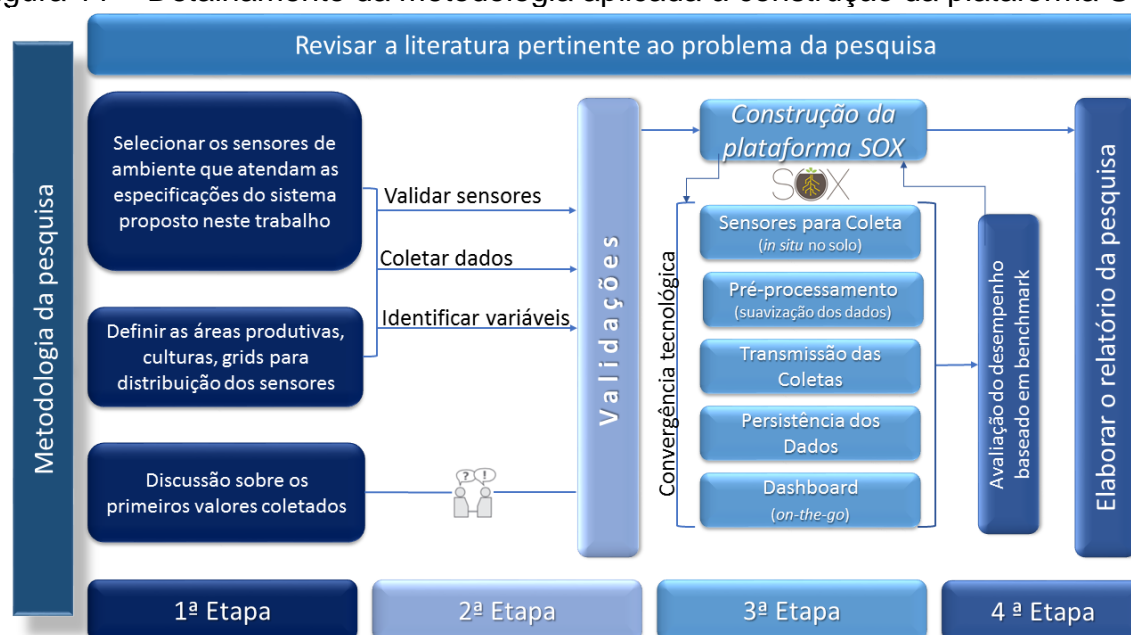
- e) da unidade de observação: serão observados os dados de um ambiente controlado, como por exemplo uma casa verde (estufa) ou um laboratório.

Já quanto ao tipo de procedimento adotado durante o processo de investigação, na perspectiva de Appolinário (2011), a pesquisa tem por objetivo aumentar a compreensão de um fenômeno ainda pouco conhecido, ou de um problema de pesquisa ainda não perfeitamente delineado. Podemos dizer que essa modalidade de pesquisa é prospectiva. Nesse sentido, usualmente, há um problema e no decorrer das próximas seções serão apresentados os artefatos que contemplam aos objetivos deste trabalho. Para corroborar com a necessidade de realizar uma pesquisa exploratória, Zikmund *et al.* (2009), afirmam que os estudos exploratórios, geralmente, são úteis para diagnosticar situações, explorar alternativas ou descobrir novas ideias.

4.2 Etapas do método

Para a elaboração desse trabalho foi realizada uma pesquisa exploratória para identificar os principais sensores com potencial para a coleta dos dados ambientais que suportam a identificação dos aspectos de qualidade do solo, em diferentes períodos e distintas cultivares. Com base nisto, a Figura 11 apresenta o fluxo de atividades envolvidas no processo de pesquisa, o qual foi dividido em quatro etapas.

Figura 11 – Detalhamento da metodologia aplicada à construção da plataforma SOX



Fonte: Autor (2019).

Na primeira etapa foi iniciado o trabalho de pesquisa bibliográfica avaliando algumas metodologias para análise dos indicadores da qualidade do solo, identificando suas potencialidades e limitações, bem como, o estudo dos sensores disponíveis no mercado que possam viabilizar a coleta de parâmetros do solo *in situ*, suportando as intempéries e demonstrando estabilidade nos valores coletados. Outra atividade nessa etapa inicial é referente a seleção da área produtiva para a instalação do sistema.

Para finalizar essa primeira etapa, os valores coletados são tabulados e validados junto ao consultor técnico. Essa ação consiste em identificar falhas nas coletas, bem como, na análise da viabilidade de instalação da solução em larga escala, dando cobertura à área produtiva de interesse.

Na segunda etapa da pesquisa, foram realizados testes com um conjunto de sensores para observar a relação entre os dados das variáveis coletadas, tais como umidade, condutividade, compactação, nutrientes e gás carbônico presentes no solo. Com esse volume inicial de dados é possível identificar relações entre as variáveis coletadas, bem como o impacto na qualidade do solo.

A terceira etapa refere-se à construção da plataforma SOX, composta pelo conjunto de sensores e técnicas para leitura, transmissão, pré-processamento e armazenamento. O desafio dessa etapa consiste em integrar as tecnologias automatizando ao máximo todo o processo envolvido da coleta à visualização dos dados, dirimindo eventuais manutenções nos sensores ou obtenção das leituras realizadas no ambiente.

A quarta etapa avalia a capacidade da plataforma SOX em sustentar a carga e o estresse gerado pelo volume de acessos concorrentes, bem como a escalabilidade oferecida pela plataforma para suportar a cobertura da área produtiva. Para avaliação dos resultados será utilizada uma ferramenta de *benchmark*, confiável e que permita simulações dos valores, dos tipos de operações e da estrutura dos dados, as quais são equivalentes as geradas pelos sensores em um ambiente real.

Tendo como base a pesquisa bibliográfica realizada para identificar quais parâmetros do solo são mais relevantes para apontar suas características produtivas e quais tecnologias podem atender às especificidades de obtenção desses valores, foi realizada uma pesquisa de mercado para avaliar a disponibilidade dos equipamentos que atendam aos requisitos operacionais desse trabalho, tais como, baixo custo e *open source*, capacidade computacional e dimensões físicas reduzidas.

Como resultado esperado serão definidos os sensores capazes de realizar as leituras dos indicadores ambientais, bem como a transmissão e a persistência destes valores. Tendo como propósito a criação de uma metodologia de leitura *in situ*, da área produtiva, visando a coleta massiva de dados, os quais permitam a indicação da capacidade dessa área em responder dentro dos limites ecossistêmicos, bem como observar as variações ambientais causadas pelas culturas e as variações climáticas.

No capítulo 5 é apresentado o processo de concepção da plataforma SOX. Considerando as características de arquitetura e funcionalidades observadas nos trabalhos correlatos aqui elencados. A fase inicial de construção da plataforma impõe desafios à integração das tecnologias e, principalmente, na investigação dos requisitos funcionais e operacionais que devem ser atendidos para potencializar as contribuições da plataforma SOX ao agronegócio.

5. IMPLEMENTAÇÃO

Esse capítulo apresenta desde a elicitação dos requisitos, validação das funcionalidades, características operacionais, as quais delimitam o escopo da plataforma SOX, passando à modelagem da solução, implementação e testes das camadas de acesso local e remota.

5.1 Requisitos do sistema

Os requisitos modelados nessa seção estão alinhados aos objetivos do trabalho, oferecendo suporte para o monitoramento permanente das condições ambientais, armazenando os resultados capturados em uma estrutura de Banco de Dados. “Um requisito é simplesmente uma declaração do que o sistema deve fazer ou de quais características ele precisa ter” (DENNIS *et al.*, 2012, p. 150).

Fazem parte dos requisitos de um software todas as funcionalidades, características e restrições, demandadas para que ele cumpra com seu objetivo. “Os requisitos expressam as necessidades e as restrições colocadas num produto de software que contribuem para a solução de algum problema do mundo real” (MAITINI NETO, 2016, p. 23).

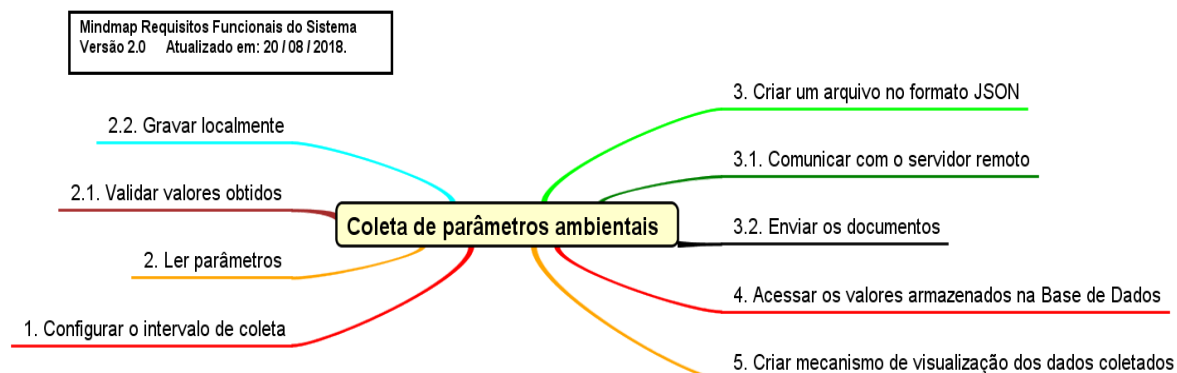
No processo de desenvolvimento da solução as necessidades são articuladas com a participação do usuário. Assim, a primeira etapa no processo de elicitação de requisitos se baseou na técnica de entrevista, a qual foi realizada com pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Pecuária Sul), onde os pesquisadores puderam apontar suas necessidades, o cenário desafiador da área agro às soluções de TIC. Neste sentido, foi possível capturar as histórias do usuário (*user stories*).

Segundo Unhelkar (2018), as histórias de usuários são um meio popular de documentar os requisitos funcionais (RF) de um sistema em um projeto Ágil. Esse recurso serve para delimitar o escopo do sistema, bem como é a base para a criação do diagrama de casos de uso, ou seja, das funcionalidades entregues pela solução.

Desta forma, para melhor organizar as histórias dos usuários e obter uma visão inicial das funcionalidades do produto, optou-se por apresentá-las em um gráfico de mapa mental na Figura 12. As funcionalidades foram listadas em ordem hierárquica de prioridade para a implementação e entregas das versões parciais ou produto

mínimo viável (*minimum viable product* – MVP), em cada etapa do ciclo de vida de desenvolvimento do sistema.

Figura 12 – Mapa mental da fase de elicitação dos requisitos do sistema



Fonte: Autor (2019).

Com base nessas funcionalidades apresentadas, bem como, após a revisão de literatura foram identificados os principais requisitos operacionais da plataforma, considerando alguns aspectos já apresentados em trabalhos correlatos e avaliando a realidade da região onde o sistema pode coletar os dados ambientais. Essa fase de elicitação dos requisitos combina elementos de solução de problemas, elaboração, negociação e especificação. A fase de elicitação incentiva uma ação colaborativa das partes interessadas para identificar o problema, propor elementos da solução, negociar diferentes abordagens e especificar as características da solução (ZAHNISER, 1990).

Para Chung *et al.* (2010, p. 184):

A complexidade de um software vai além das suas funcionalidades (Requisitos Funcionais), passa também pelos requisitos não-funcionais (NFR), tais como: custo, performance, robustez, segurança, confiabilidade, manutenibilidade, portabilidade, custos operacionais entre outras características operacionais.

Desta forma, os NFR do sistema apresentam aquilo que é necessário para suportar a aplicação, desde que não sejam funcionalidades implementadas pela solução.

A seguir são listados os NFR que foram identificados para o sistema proposto:

a) NFR 1 – disponibilidade dos dados, do tipo operacional e manutenibilidade, é o principal desafio imposto à plataforma SOX, mas apresenta soluções

paliativas de contorno, como por exemplo a gravação local dos dados para posterior transmissão à camada remota, a qual oferece o serviço de banco de dados.

- b) NFR 2 – eficiência energética, do tipo performance e manutenibilidade, da solução proposta, a qual também poderá ser contornada com a instalação de um banco de bateria portáteis, que oferecem um maior tempo de duração, ou seja, com a indicação de miliampère-hora (mAh) mais elevada, ainda, é possível otimizar o consumo energético, refinando procedimentos internos do software que reflitam no uso computacional mais eficiente pela solução, o tempo de duração sem necessidade de manutenção ou troca das baterias deve atender o ciclo do cultivar.
- c) NFR 3 – plataforma WEB, do tipo portabilidade, para garantir o acesso aos dados persistidos no SGBD, de forma dinâmica, com o uso de qualquer dispositivo computacional que possua um navegador WEB, sem a necessidade da instalação de pacotes ou aplicativos adicionais, garantindo a compatibilidade com os principais navegadores em uso no mercado.
- d) NFR 4 – baixo custo, do tipo custos operacionais, o hardware e todos os seus componentes devem ser *open source* e com baixo custo de montagem, não ultrapassando os US\$100,00, na camada local de coleta dos dados ambientais.
- e) NFR 5 – suportar à intempérie, do tipo robustez, o hardware deve ser encapsulado em uma estrutura física que permita sua exposição às condições climáticas da região do Pampa gaúcho por um período mínimo de três meses, considerando o tempo médio do ciclo das culturas.
- f) NFR 6 – acesso concorrente, do tipo performance, a camada remota da solução deve suportar o acesso concorrente de, no mínimo, dez usuários realizando inserções simultâneas na estrutura do banco de dados.
- g) NFR 7 – validação dos dados, do tipo confiabilidade, os dados gravados na estrutura do banco de dados precisam de mecanismos de validação internos, eliminando os dados ruidosos ou corrompidos durante a transmissão.

5.2 Modelagem do sistema

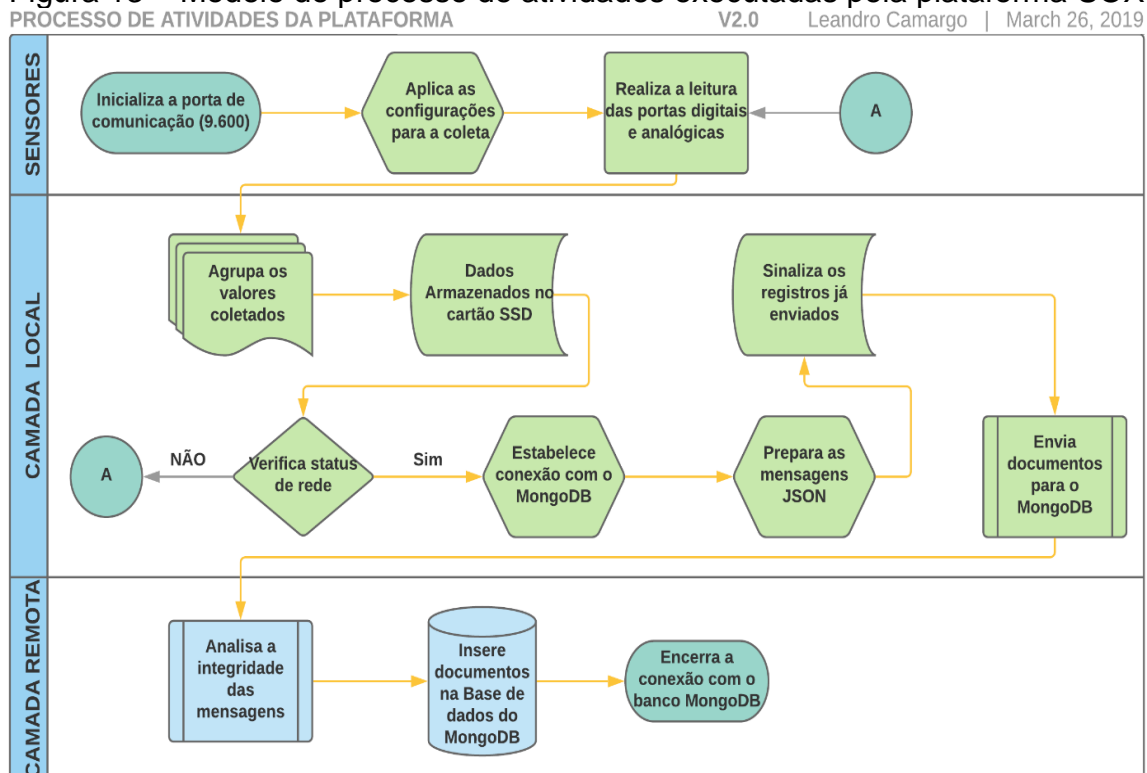
Construir um software funcional que capture os desejos do usuário e produza os resultados esperados é a base para o sucesso de um projeto. Na perspectiva de Koscianski e Soares (2007), o software não é um simples conjunto de funções desconexas, pois além de tratar um grande volume de informações vindas de diversas fontes o projetista precisa estar atendo aos requisitos não declarados.

Com o intuito de facilitar o processo de descoberta dos requisitos funcionais e operacionais de um produto de software, Lethbridge e Laganière (2005, p.171), propuseram:

“A criação de modelos pode auxiliar projetistas a terem *insights* sobre o sistema, ao analisar a modelagem podem descobrir outras propriedades ou até mesmo problemas, contudo os diagramas devem ser fáceis de entender pois também ajudam na comunicação com clientes e usuários”.

Nesse sentido, a Figura 13 expõe um modelo do processo de atividades que a plataforma SOX oferece, dando uma visão geral de como ocorre o fluxo dos dados, desde a coleta no ambiente até o armazenamento definitivo na estrutura de persistência disponibilizada na camada remota.

Figura 13 – Modelo do processo de atividades executadas pela plataforma SOX



Fonte: Autor (2019).

Fica explícito analisando a Figura 13, a capacidade da plataforma SOX de operar mesmo desconectada da infraestrutura de rede. As próximas subseções apresentam os diagramas de casos de uso e de sequência, além de diagramas que explicam a arquitetura do sistema e a comunicação nos diferentes níveis do sistema.

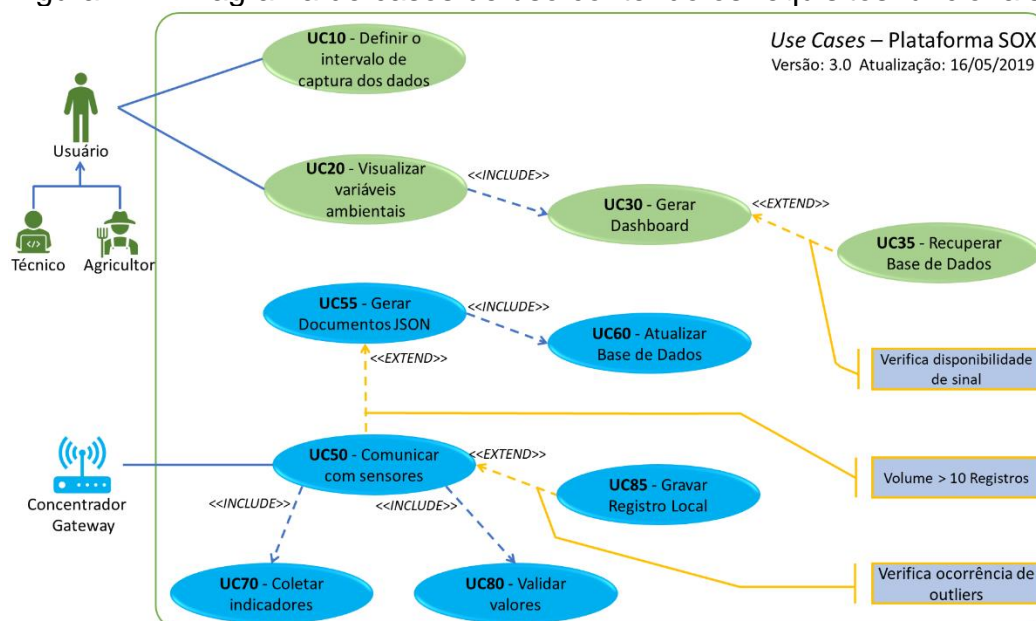
5.2.1 Diagrama de casos de uso

Na perspectiva de Dennis *et al.* (2012, p. 148):

“os casos de uso geralmente são considerados uma visão externa ou funcional do negócio, mostrando como os usuários visualizam o processo, em vez dos mecanismos internos pelos quais o processo opera”.

A Figura 14 apresenta o diagrama de casos de uso onde são modelados todos os requisitos funcionais do sistema e os respectivos atores que interagem com cada atividade descrita. Para facilitar o entendimento desse diagrama, a modelagem foi realizada utilizando um tom mais claro que corresponde às ações desencadeadas pelo usuário do sistema e um tom mais escuro que representam as ações iniciadas a partir do sistema externo (*gateway*) que faz a leitura dos sensores.

Figura 14 – Diagrama de casos de uso contendo os requisitos funcionais do sistema



Fonte: Autor (2019).

O diagrama de casos de uso define a maneira pela qual os atores (A10 e A50), exibidos na Figura 14, interagem com o sistema para atingir algum objetivo. “Em

essência, um caso de uso captura as interações que ocorrem entre produtores e consumidores de informações e o próprio sistema.” (PRESSMAN, 2010, p. 133).

Além da apresentação gráfica dos requisitos, alguns detalhes devem ser escritos com relação às funcionalidades do sistema. Conforme Koscianski e Soares (2007), a documentação produzida ao longo do processo de desenvolvimento de um sistema deve ocorrer de forma correta e concisa, isso é fundamental para sua compreensão. Neste sentido, a Tabela 5, complementa as características relevantes à documentação do software, visando um melhor entendimento pelas pessoas envolvidas no projeto, ou seja, os *stakeholders*.

Tabela 5 – Documentação resumida dos casos de uso

Casos de Uso	Ator
UC10 – <u>Definir o intervalo da captura de dados.</u> Descrição: Esta funcionalidade do sistema permite o ajuste do intervalo das leituras obtidas pelos sensores. Conforme orientações do consultor técnico é configurado o intervalo das leituras do conjunto de sensores, referentes às características ambientais do local onde estão instalados.	A10 – Usuário.
UC20 - <u>Verificar as variáveis ambientais.</u> Descrição: O sistema deve permitir que o usuário visualize os dados coletados de forma remota, através de uma ferramenta simples.	A10 – Usuário.
UC30 - <u>Gerar Dashboard.</u> Descrição: A visualização dos dados ocorrerá de forma gráfica, através de um <i>dashboard</i> , atualizado automaticamente no console do usuário.	A10 – Usuário.
UC35 - <u>Recuperar Base de Dados.</u> Descrição: Este caso de uso é responsável pela seleção dos dados gravados no banco e montagem de uma matriz para posterior exibição no console do usuário.	A10 – Usuário.
UC50 - <u>Comunicar com sensores.</u> Descrição: Esta funcionalidade captura os dados de cada sensor, no intervalo de tempo definido pelo usuário, em alinhamento às necessidades do consultor técnico e variando conforme o estágio de desenvolvimento da planta.	A50 – Concentrador <i>Gateway</i> .
UC55 - <u>Gerar Documentos JSON.</u> Descrição: Todos os dados coletados serão transmitidos à base de dados. Esta transmissão ocorrerá em intervalo fixado pelo volume de dados coletados, visando a eficiência energética e o aproveitamento do mesmo cabeçalho para transmitir um volume maior de dados.	A50 – Concentrador <i>Gateway</i> .
UC60 - <u>Atualizar Base de Dados.</u> Descrição: Além da gravação local dos dados no cartão de memória, os dados serão persistidos em uma camada remota no servidor de banco de dados.	A50 – Concentrador <i>Gateway</i> .
UC70 - <u>Coletar indicadores.</u> Descrição: A funcionalidade é responsável pela coleta dos dados em todos os sensores instalados na plataforma SOX, sem que haja qualquer tipo de tratamento e, em um intervalo de tempo previamente definido.	A50 – Concentrador <i>Gateway</i> .
UC80 - <u>Validar valores.</u> Descrição: Operação que valida os dados coletados, eliminando eventuais valores distorcidos (<i>outliers</i>) originados pela falha dos sensores ou erros na comunicação.	A50 – Concentrador <i>Gateway</i> .
UC85 - <u>Gravar Registro Local.</u> Descrição: Funcionalidade que permite a gravação contínua dos dados, em formato de texto puro, em uma unidade de armazenamento local, sem os mecanismos de controle oferecidos pelo sistema gerenciador de banco de dados.	A50 – Concentrador <i>Gateway</i> .

Fonte: Autor (2019).

Embora o caso de uso UC60 esteja vinculado ao ator A50, esta funcionalidade pode interagir com outro agente externo, o qual consiste de um servidor que hospeda o serviço de banco de dados. Tal agente externo não fora modelado nos casos de uso por se tratar de uma funcionalidade extra implementada conforme o escopo demandado, bem como a infraestrutura de TIC existente. Alguns casos de uso são controles internos e atendem às regras do negócio aplicadas ao sistema. Desta forma, estão associados diretamente a um hardware, ou seja, a um agente externo denominado (A50 Concentrador *Gateway*).

5.2.2 Modelo conceitual do diagrama de classes

O diagrama de classes, apresentado na Figura 15, é um artefato do domínio do problema e não do domínio da solução, portanto, não especifica a arquitetura do sistema. Ele é formado pelos conceitos (classes de abstração) obtidos a partir da análise textual da definição do problema. Na visão de Pressman (2010), a modelagem baseada em classe representa os objetos que o sistema manipulará, os métodos⁷ que serão aplicados a eles para efetuar tal manipulação, os relacionamentos e as colaborações que ocorrem entre os objetos.

No diagrama apresentado na Figura 15, não há dependência ou qualquer conceito de tempo ou sequência e, no intuito de melhorar a compreensão do domínio do problema é exposta a estrutura lógica da plataforma SOX, dividida em dois pacotes, os quais são mantidos por mecanismos de controle distintos. Um controlador que trata da inserção dos valores ambientais no banco (Control: InsertOn), outro mecanismo que seleciona os documentos armazenados no banco de dados (Control: Push).

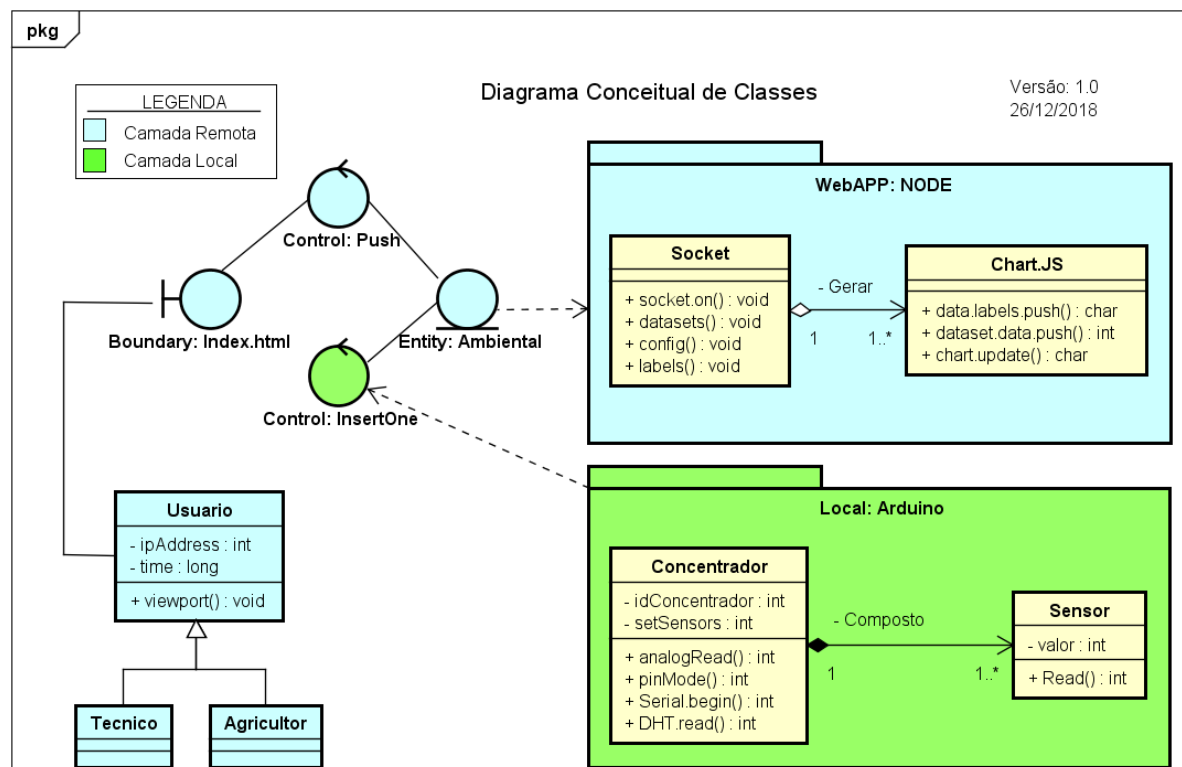
A plataforma SOX apresenta uma única interface com o usuário (Boundary: Index.html), a qual permite apenas a visualização dos dados, de forma gráfica, no formato de um *dashboard*⁸, através do navegador (web browser) utilizado pelo dispositivo computacional desse usuário. Outra característica evidenciada na Figura 15, trata da ausência de comunicação direta entre os pacotes, essa interação ocorre

⁷ Métodos: são ações ou serviços que os objetos de uma classe podem realizar.

⁸ *Dashboard*: é um painel visual que apresenta, de maneira centralizada, um conjunto informações.

exclusivamente através do banco de dados, à medida que as requisições de acesso ocorram, tanto pelos concentradores quanto pelos usuários da interface.

Figura 15 – Modelo conceitual do diagrama de classes



Fonte: Autor (2019).

A Figura 15 apresenta na camada local o dispositivo Arduino chamado de concentrador que é composto por um, ou um conjunto de sensores. Este concentrador possui um objeto de tipo “Control” denominado “InsertOne”, o qual é responsável por validar as regras do negócio deste domínio de conhecimento. Este objeto de controle pode eliminar eventuais valores inválidos antes da inserção no banco de dados.

A ferramenta que permite a visualização dos dados pelos usuários é denominada no diagrama de classes como “WEB APP: NODE”, onde apresenta dois objetos: o “SOCKET”, que busca os dados no banco e monta uma matriz para posterior plotagem do gráfico na tela do navegador, ação desencadeada pelo objeto “CHART.JS”.

“Os métodos são a implementação do comportamento de uma classe e permitem que esta classe cumpra suas responsabilidades, bem como as operações que serão executadas” (UNHELKAR, 2018, p. 130). Embora a modelagem apresentada na Figura 15, esteja em um nível conceitual foram inseridos os métodos,

ou ações que cada objeto é capaz de desencadear, bem como o tipo de dado que é transmitido por esta classe.

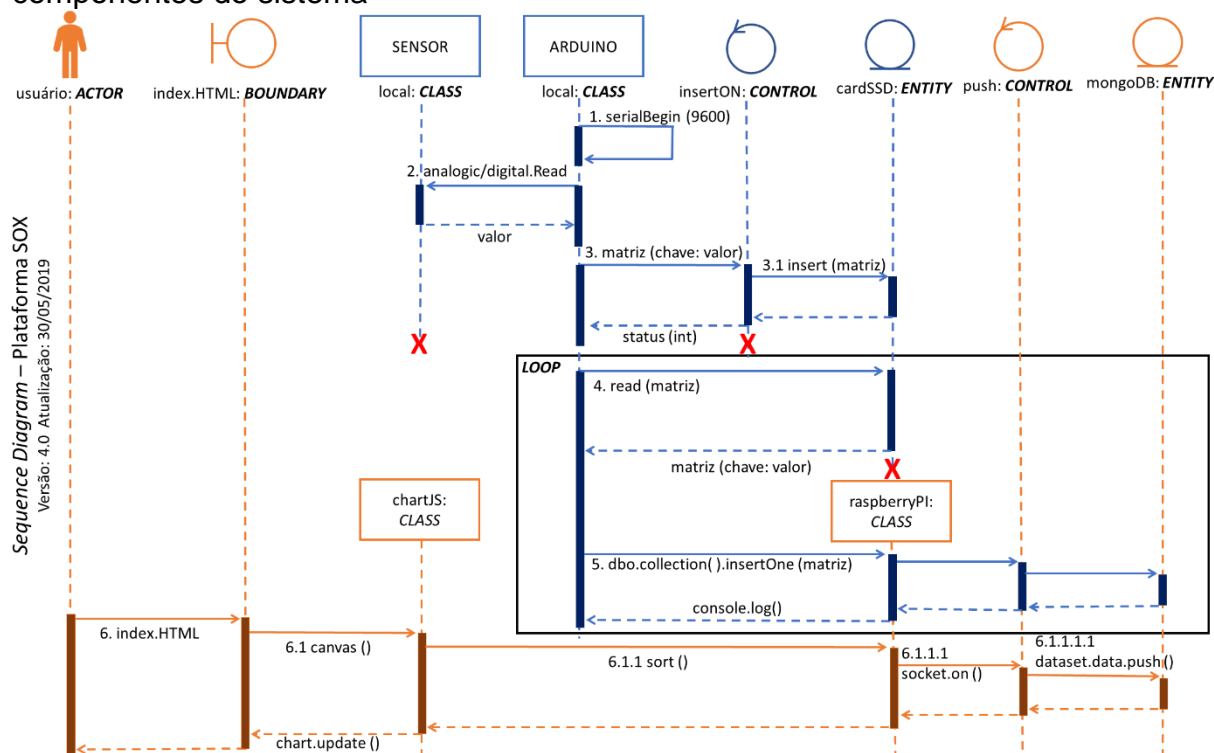
5.2.3 Diagrama de sequência

Os diagramas de sequência representam uma interação entre objetos. São usados para rigorosamente documentar e verificar a lógica contida em casos de uso (SCOTT, 2000). Tais diagramas apresentam a sequência de trocas de mensagens entre os objetos, bem como os eventos correspondentes às operações. Os objetos podem ser especificamente mostrados nesses diagramas ou podem ser objetos anônimos pertencentes a uma classe. A sequência de execução de mensagens entre objetos em tempo de execução é bem modelada nesses diagramas. A Figura 16 demonstra todas as interações entre os objetos, tais interações ocorrem através da troca de mensagens. O diagrama apresenta o nível local com coloração clara e, o nível remoto em tom mais escuro.

Embora as mensagens mostradas no diagrama de sequência possam ter pré-condições e pós-condições, essas condições não são diretamente visíveis no diagrama. Conforme apresentado por Unhelkar (2018), é possível mostrar o que acontece entre duas mensagens e verificar o que acontece à medida que o tempo avança. A interação do usuário com o sistema por meio de uma interface, ocorre apenas através do acesso realizado pelo navegador (*web browser*).

Na modelagem do diagrama de sequência apresentada na Figura 16, o sistema apresenta seis níveis hierárquicos de interação, ou trocas de mensagens entre os objetos, onde o primeiro nível parte do microcontrolador, o qual inicializa a velocidade de comunicação através da porta serial para 9.600 *bits per second* (bps). Em seguida, são realizadas leituras dos sensores instalados no ambiente. Tais leituras são obtidas através das portas analógicas ou digitais do microcontrolador, conforme especificação técnica de cada componente. O terceiro nível consiste na gravação dos dados em um cartão de memória do tipo *solid-state drive* (SSD) ou disco de estado sólido. Estes três níveis são repetidos em um intervalo de tempo definido pelo usuário, em alinhamento às exigências do consultor técnico.

Figura 16 – Diagrama de seqüência com a troca de mensagens entre os objetos e componentes do sistema



A partir do quarto nível hierárquico das trocas de mensagens entre os objetos do sistema ocorrem interações com a camada remota, a qual trata da persistência dos valores ambientais no banco de dados (SGBD). Este quarto nível apresenta uma estrutura de repetição que coleta cada linha da matriz de dados armazenada localmente no cartão de memória SSD. Cada matriz de dados lida recebe uma marcação para evitar a inserção em duplicidade dos documentos.

No quinto nível ocorre uma conexão com o servidor do SGBD, através de uma rede de dados disponível, dependendo da *shield*⁹, no contexto deste trabalho pode ser uma placa com tecnologia IEEE 802.11 ou ainda, o *Global System for Mobile Communications* (GSM - Sistema Global para Comunicações Móveis), dependendo da infraestrutura disponível no local das coletas dos dados ambientais.

O sexto nível de trocas de mensagens consiste na interação entre usuário do sistema, o qual poderá observar os dados já gravados no SGBD através de gráficos

⁹*Shield*: é uma placa que estende os recursos do microcontrolador, com funcionalidades específicas.

dinâmicos que são atualizados à medida que novos documentos são inseridos. Outras mensagens são disparadas diretamente do concentrador (*gateway*), dos sensores que estão coletando os dados do ambiente. Nesse nível, não há respostas do ponto inicial que disparou o processo.

Por fim, cabe ressaltar a importância da modelagem dos diagramas apresentados, pois os modelos permitem uma visão fácil das funcionalidades, interações e da arquitetura aos diferentes níveis de domínio técnico apresentado pelos *stakeholders*. O diagrama de casos de uso facilita a compreensão do usuário final, enquanto o diagrama de classes é orientado ao analista, já o diagrama de sequência é importante ao time de desenvolvimento da aplicação, pois o efeito de eventuais ajustes são melhor compreendidos no restante do sistema.

5.3 Desenvolvimento

A plataforma SOX, apresenta uma arquitetura em duas camadas: uma remota que corresponde a nuvem, onde o servidor do banco de dados oferece um maior poder computacional e dá suporte à persistência dos dados. A outra camada é chamada de local, pois está fisicamente no cenário de coleta dos dados. Essa camada é composta pelo microcontrolador, que gerencia os sensores ligados através de cabos, além do sistema temporário para o armazenamento dos dados e do sistema de comunicação.

A camada remota apresenta um custo de montagem de aproximadamente US\$90 (Noventa Dólares), referentes ao valor do Raspberry e do cartão de memória. Essa camada pode suportar a carga de vários concentradores realizando requisições de acesso para a inserção dos dados no banco, sem que haja a degradação da performance, incremento da latência ou perda de pacotes.

O custo de montagem da camada local é de aproximadamente US\$40 (Quarenta Dólares), correspondente ao preço da placa Arduino, do cartão de memória, o leitor de memória, o sensor de umidade do solo e o módulo de rede. Contudo, dependendo do número de sensores instalados junto a placa esse preço é alterado, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6 – Preço dos componentes de hardware utilizados na SOX

Hardware	Camada	Preço em US\$
Raspberry PI	Remota	80,00
Antena 2.4 GHz 3 dbi	Local	5,00
Arduino Uno R3	Local	14,00
Cartão memória SD 8Gb	Local	10,00
ESP8266	Local	10,00
Gerador fluxo água	Local	20,00
GSM <i>shield</i> SIM900	Local	30,00
<i>Hygrometer soil</i> ML69 e LM393	Local	1,00
Leitor Cartão SD	Local	1,00
Módulo Wi-fi Arduino Nrf24I01	Local	5,00
Sensor de chuva YL83	Local	2,00
Sensor temperatura DHT22	Local	10,00

Fonte: Autor (2019).

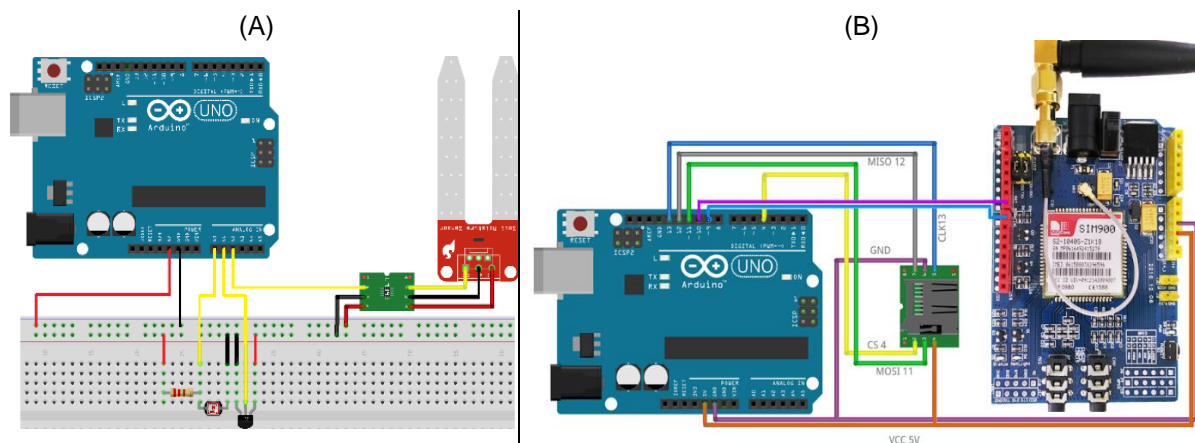
O investimento total demandado para a operação do sistema de monitoramento do ambiente pode variar conforme o número de sensores e as características físicas do espaço onde serão instalados. Contudo, a estrutura remota, a qual requer o maior investimento, pode suportar vários dispositivos concentradores transmitindo os valores ambientais coletados, em diferentes áreas. Já na camada local, dependendo da distância entre os nós sensores e o microcontrolador há necessidade de replicação da estrutura, contudo o investimento em cada unidade, normalmente é inferior quando comparado com a camada remota.

5.3.1 Construção da plataforma SOX

A Figura 17 (A), apresenta um projeto com um conjunto de sensores instalados na placa Arduino para coleta de parâmetros ambientais de umidade do solo, luminosidade e temperatura. A Figura 17 (B), expõe o sistema de armazenamento local em um cartão de memória sólida (SSD), bem como o módulo de transmissão de dados através de rede GSM. Esse módulo permite que os dados sejam transmitidos

para o servidor de banco de dados, na *cloud*, através de mensagens de inserção enviadas diretamente ao MongoDB.

Figura 17 – Modelo do sistema para a coleta de parâmetros ambientais (A) e do sistema de armazenamento local e de comunicação (B)



Fonte: Autor (2019).

O módulo de comunicação exibido na Figura 17 (B), exige uma fonte de energia externa, pois em momentos de maior volume de transmissão o consumo se aproxima dos 2 A (dois Amperes por hora). Assim sendo, quando houver necessidade de um fluxo contínuo de transmissão é importante a adoção de uma fonte externa de 5 volts e 2 A.

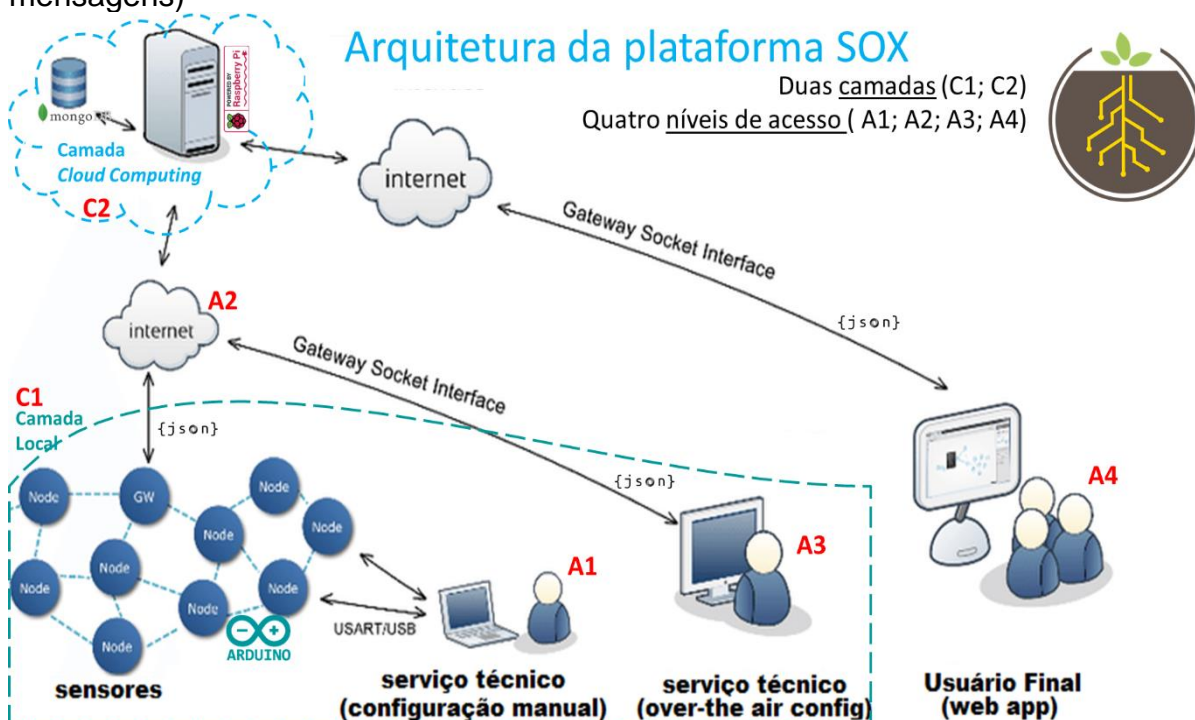
Como é esperado, os sensores serão expostos a uma grande quantidade de condições ambientais (temperatura, umidade, etc.), ainda, um grande volume de inserções na base de dados. Neste sentido, o banco de dados NoSQL pode lidar com os dados produzidos pelos sensores IoT.

As duas tecnologias que compõem a camada remota da plataforma SOX, o banco de dados MongoDB e o Raspberry Pi, oferecem o serviço de banco de dados rodando em um computador que possui o tamanho de um cartão de crédito e juntos entregam um mecanismo de banco de dados NoSQL para essa plataforma baseada na IoT. Este sistema pode usar Raspberry Pi ou algumas alternativas comuns, como Banana Pi, Orange Pi ou BeagleBone Black, que também são placas computacionais, de dimensões reduzidas, com poder computacional importante, de baixo custo e programáveis.

Na Figura 18 é apresentada a arquitetura do sistema com algumas interações e trocas de mensagens entre os seus objetos. A arquitetura está disposta em duas

camadas, uma local, responsável pela coleta de dados ambientais, a qual abarca todos os componentes interligados fisicamente por cabo ou por uma estrutura de rede local. Uma outra, chamada de camada remota contendo a estrutura computacional mais complexa e independente, a qual atua para garantir a persistência dos dados, contando com um servidor que hospeda o banco de dados.

Figura 18 – Arquitetura da plataforma SOX (camadas, níveis de acesso e formato das mensagens)



Fonte: Autor (2019).

Na camada local (C1) é realizada uma validação dos parâmetros coletados pelos nós sensores, conforme a definição de intervalo, os dados coletados de umidade, temperatura e luminosidade são transmitidos para o servidor de banco de dados (Raspberry) e o documento armazenado no banco MongoDB juntamente com a data e hora da inserção.

A arquitetura do sistema prevê quatro níveis de acesso ao sistema, conforme já apresentado na Figura 18, identificados como A1, A2, A3 e A4, onde os três primeiros tratam do acesso direto aos nós sensores que estão coletando os valores ambientais. No nível A1 a conexão é realizada através do cabo USB, onde é interligado o dispositivo computacional ao circuito Arduino. Este nível serve para um serviço técnico, como ajustes na configuração ou atualização na versão da aplicação em execução no Arduino.

No nível A2 a placa Arduino transmite os dados coletados para a camada de persistência dos dados (C2), este nível é responsável pelo maior volume de transmissões de dados. O nível A2 possui permissão de acesso ao servidor de banco de dados para inserção de valores, isto ocorre de forma exclusiva, pois os demais acessos são apenas requisições de leitura dos dados. Já no nível A3, caso exista uma estrutura de rede local, é possível acessar os dados, sem uma conexão física, diretamente do dispositivo computacional do usuário ao sistema Arduino, através da rede sem fios.

O nível A4 corresponde ao método de acesso mais comum no sistema, onde qualquer dispositivo computacional, com acesso à Internet e, através de um navegador de Internet (*Web Browser*), pode acessar os dados registrados no banco de dados do servidor e visualizá-los no formato de um gráfico dinâmico, ou seja, à medida que os dados sejam inseridos na base serão imediatamente atualizados na interface na qual o usuário final faz o uso.

Uma preocupação foi quanto à garantia de robustez do sistema à medida que o escopo de usuários seja ampliado, pois a implementação suporta a escalabilidade, inclusive na troca de mensagens, permitindo a adição de novos atributos, visto que o banco de dados é orientado a documentos e, como tal, basta adicionar a nova chave e o respectivo valor. A Figura 19 demonstra a inserção de um documento no formato JSON no banco de dados MongoDB. Onde os dados coletados pelos sensores compõem uma matriz com várias colunas, dependendo do volume de sensores controlados pela unidade de coleta.

Figura 19 – Mensagem JSON para a inserção de documentos no banco de dados MongoDB

```
MongoClient.connect( url, function ( err, db ) {
  if ( err ) throw err;

  var dbo = db.db ( "ambiental_CLI01" );

  var myobj = { orig: valores [0], toke: valores [1], umid: valores [2],
               temp: valores [3], lumi: valores [4], solo: valores [5],
               hora: formatted };

  dbo.collection( "DadosAmbientais" ).insertOne ( myobj, function ( err, res ) {
    if ( err ) throw err;
    console.log( "1 document inserted. " );
    db.close ();
  });
});
```

Fonte: Autor (2019).

Como a estrutura em nuvem pode suportar vários clientes, cada cliente recebe uma identificação, no exemplo da Figura 19, “ambiental_CLI01” e, conforme a

configuração do sistema, pode haver a inserção de novos campos ou a exclusão, conforme a demanda na obtenção das variáveis ambientais. Estes valores são coletados individualmente e gravados localmente no cartão de memória do concentrador, ou ainda, podem ser transmitidos para a camada remota, caso exista uma rede de dados ativa. O concentrador ou *gateway* está conectado à Internet e aos serviços na nuvem por meio da conexão Ethernet ou GSM.

Ao menos duas colunas na matriz de dados são padronizadas, independente do volume de sensores ligados ao nó concentrador, conforme apresentado na Figura 20. A primeira coluna identifica a origem do concentrador que transmite os dados (*orig*). Para uma implementação com várias placas de microcontrolador, a cada uma delas é atribuído um número de identificação que varia entre 1 e “n”.

Figura 20 – Formato da matriz que armazena os valores coletados pelos nós sensores

orig	sensor1	...	sensor “n”	toke	hora
1	999	...	999	999	99/99/9999; 99:99:99
...	99/99/9999; 99:99:99
n	999	...	999	999 ...999	99/99/9999; 99:99:99

Fonte: Autor (2019).

A penúltima coluna presente na matriz corresponde a um mecanismo de validação e, quando necessário, um instrumento para recuperação de algum valor corrompido durante a transmissão dos dados, chamado de *token* e identificado no banco como (*toke*), que agrupa os valores dos sensores em uma única expressão, por exemplo, supondo os seguintes valores para os campos: *umid*: 150, *temperatura*, 35, *lumi*: 320, *solo*, 450. O valor armazenado no *token* será “150035320450”, correspondente a junção dos parâmetros ambientais.

5.3.2 Tecnologias adotadas

Essa seção apresenta as principais características e contribuições oferecidas pelas tecnologias que foram integradas na construção da plataforma. Para tal, as tecnologias foram agrupadas em duas classes, uma que trata de questões lógicas, chamada de *software* e outra chamada de *hardware*, onde são elencados os equipamentos incorporados à plataforma, ou seja, a parte física do sistema.

5.3.2.1 Tecnologias de software

A camada de software da plataforma SOX integra as tecnologias de envio de mensagens, visualização dos dados, armazenamento no banco de dados digital e desenvolvimento da aplicação voltada às demandas do cliente (*front-end*¹⁰). Tais tecnologias serão apresentadas a seguir.

a) Node.JS

Um dos motivos importantes por trás da origem do Node.js está no suporte a aplicativos da Web em tempo real, oferecendo alguns *frameworks* construídos muito populares, tais como: Socket.io e Sock.JS. Essas estruturas tornam simples a criação de aplicativos instantâneos baseados em colaboração. Ele também possui ferramentas robustas de rede e sistema de arquivos, onde os aplicativos cliente-servidor estabelecem conexões de rede e se comunicam por meio de fluxos (*streams*) e canais (*pipes*).

b) JSON

O Java Script *Object Notation* (JSON) é um modelo para armazenamento e transmissão de informações no formato texto. O JSON tem sido utilizado por aplicações Web devido a sua capacidade de estruturar informações de uma forma mais compacta do que a conseguida pelo modelo XML, tornando mais rápido o *parsing*¹¹ dessas informações.

Conforme apontam Polat *et al.* (2018), a estrutura JSON não apenas elimina a complexidade, mas também reduz o tamanho dos dados, assim, os dados transportados através da rede, em JSON demanda um tamanho menor que no XML. Para que o Arduino seja capaz de formular uma mensagem no formato JSON e a encaminhe para o servidor através de um *socket*, é necessária a instalação de uma biblioteca de código aberto, chamada WebSocketsClient¹².

¹⁰ *Front-end* refere-se às operações que são realizadas pelo cliente, executadas no dispositivo computacional local.

¹¹ *Parsing* é o processo de analisar uma sequência de entrada.

¹² GITHUB. **Biblioteca WebSocketsCliente**. [S. l., s.n.]. Disponível em: <https://github.com/Links2004/arduinoWebSockets/blob/master/src/WebSocketsClient.cpp>. Acesso em: 14 jan 2019.

c) MongoDB

Conforme apontam D'Mello *et al.* (2017), uma das razões mais importantes para a popularidade do MongoDB é sua característica de um banco de dados amigável ao JSON. Isso significa que os documentos são armazenados e recuperados do MongoDB como objetos JavaScript. Internamente, esses dados JSON são convertidos para o formato BSON enquanto são persistidos no sistema. Então, isso dá flexibilidade, pois utiliza o mesmo formato de dados tanto no lado do cliente quanto no servidor e, eventualmente, para o banco de dados.

Outro recurso importante do MongoDB é sua natureza sem esquema (*schema-less*), o esquema em um banco de dados relacional, demanda uma prévia definição, exata, da estrutura dos dados que serão armazenados, como o número exato de colunas, o comprimento e o tipo de dados para cada campo em uma tabela. “O MongoDB fornece uma natureza flexível em que os documentos armazenados no banco de dados não precisam seguir nenhum esquema, a menos que o desenvolvedor o imponha no nível do aplicativo” (D'MELLO, 2017, p.18). Isso permite a realização de modificações no esquema do aplicativo em tempo real.

d) Chart.JS

Existe uma variedade de bibliotecas de gráficos JavaScript, as quais oferecem diferentes tipos de gráficos, interatividade, ligação de dados, tecnologias de renderização ou licenças. Conforme apresentam Karavirta; Shaffer, (2012), no campo do processamento e visualização de grandes quantidades de dados, o Google Charts, o Chart.js, o D3 e o Flot são os mais utilizados.

Nesse sentido, a plataforma utiliza na geração dos gráficos, o Chart.js, consiste de uma biblioteca escrita em JavaScript, bastante simples, flexível e de código aberto, a qual permite a visualização dos dados em oito tipos diferentes de gráficos, onde cada um deles pode ser animado e personalizado. Os gráficos podem ser interativos, ao tocar sobre os objetos na tela são apresentadas informações referentes ao ponto específico.

A plotagem de um conjunto de dados complexos, esparsos no tempo é viabilizada com o uso de escalas logarítmicas. Conforme aponta Geary (2012, p. 453):

O processo de renderização é executado pela tecnologia Canvas, que oferece excelente desempenho de renderização em todos os navegadores modernos, onde os gráficos são automaticamente ajustados conforme o dimensionamento da janela, a fim de obter uma granularidade de escala perfeita.

Tal processo permite a visualização dos gráficos de forma nítida em qualquer tamanho de tela, sem que ocorra distorções em função da compactação do volume de informações exibidas.

5.3.2.2 Tecnologias de hardware

Este item apresenta os equipamentos que atendem aos requisitos operacionais da plataforma SOX. Para contextualizar a seleção destes dispositivos computacionais serão elencadas as principais características físicas, tais como dimensões, poder computacional e eficiência energética.

a) Raspberry PI 3

O Raspberry Pi é uma plataforma popular que oferece um servidor Linux completo em uma pequena plataforma, por um custo muito baixo, conforme Tabela 7. Esses requisitos atendem a proposta da plataforma. Além disso, suporta a instalação do MongoDB, bem como, as requisições tanto de inserção de um volume importante de documentos quanto do escaneamento dos dados para disponibilização nos dispositivos computacionais dos usuários (*end-devices*).

Tabela 7 – Especificação técnica do Raspberry

Atributos	Especificações
Modelo	Raspberry Pi 3 Model
Processador	Broadcom BCM2837 64 bits ARM Cortex-A53 Quad-Core
Velocidade	1.2 GHz
Memória RAM	1GB
Alimentação	5V
Consumo Energético	3.000mAh
Conexões	Ethernet 10/100, Wi-fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2.
Dimensões	85 x 56 x 17mm

Fonte: Autor (2019).

A falta de informações sobre a capacidade de armazenamento do Raspberry, nos atributos da Tabela 7, se dá pelo fato do equipamento não possuir esse recurso de forma nativa ou encapsulada na estrutura, pois oferece uma unidade de leitura para cartões de memória SD. Logo, o usuário pode utilizar uma unidade de armazenamento conforme a demanda do sistema. Para a plataforma, se optou por uma unidade de memória com capacidade de 8 GB.

b) **Arduino UNO**

A placa do Arduino Uno é categorizada como de nível de entrada e mais adequada para iniciantes. Contudo, possui todas as características necessárias à plataforma SOX. A Tabela 8 apresenta os principais atributos e especificações desse modelo de placa.

Tabela 8 – Especificação técnica do Arduino

Atributos	Especificações
Modelo	Arduino UNO R3
Processador	Microcontrolador - ATmega328
Velocidade	16 MHz
Memória	Flash 32 KB (0,5 KB <i>bootloader</i>)
Alimentação	5V
Consumo Energético	500mAh
Conexões	14 Portas Digitais, 6 Portas Analógicas
Dimensões	27 x 21 x 12mm

Fonte: Autor (2019).

Qualquer que seja a placa Arduino selecionada para a implementação da plataforma, os atributos que mais impactam ficam a cargo do consumo energético e das dimensões. A única restrição que existe quanto a escolha do modelo de placa é referente ao suporte à conectividade com a Internet de alguma forma, demandando compatibilidade dos *shields* que oferecem tal funcionalidade específica.

Com relação a programação necessária para incorporar as funcionalidades oferecidas por essas placas de extensão, isso ocorre através de bibliotecas. Uma biblioteca é um código totalmente desenvolvido e testado, o qual é incluído no código

fonte da aplicação principal (JAVED, 2016). Por exemplo, para comunicar através da Internet usando uma conexão Ethernet, ao invés de escrever todo o código fonte, basta importar e incluir a biblioteca que implementa as funcionalidades.

c) **Sensores e shields**

A Tabela 9 apresenta os sensores e placas de expansão (*shields*), que podem ser incorporados ao sistema da plataforma, conforme as indicações do consultor técnico e, ainda, das necessidades da cultura ou do ambiente que se deseja coletar os dados. Além do nome técnico do componente, a Tabela 9 apresenta a funcionalidade e autonomia energética, a qual é apresentada em função do consumo em miliampère-hora. O consumo de cada sensor é apresentado em condições de uso regulares, bem como, quando está em estado de espera ou adormecido. O consumo energético das placas de conexão com a rede de dados depende da intensidade do sinal, bem como do volume de dados transmitidos.

Tabela 9 – Especificação técnica dos sensores e placas

Nome	Funcionalidade	Consumo Energético em miliampère-hora (mAh) U-A-N/A ¹³
ESP8266	Conexão com a rede de dados	U- 220 (802.11b,1Mbps, 19dbi) A- 70
Shield SIM900	Conexão com a rede móvel de dados	U- 2.000 A- 1,5
Comparador LM393	Medidor da Umidade do solo	U- 18 A- N/A
Módulo Cartão SD	Permite a leitura e escrita na memória SD	U- 6 A- N/A
Nrf-24 l 01	Antena Transceptor 2.4GHz 1Km	U- 115 (TX) ou 45 (RX) A- 0,0042
YL83	Medidor do Volume de chuva	U-100 A- N/A
DHT22	Medidor da Temperatura e Umidade do ar	U- 2,5; A- 0.0100

Fonte: Autor (2019).

¹³ U – em uso (*on*); A – adormecido (*stand-by*); N/A – não se aplica.

A Tabela 9 viabiliza o cálculo aproximado do consumo energético do sistema. Para tal, conforme apresentado na Equação 5.3.2.1, basta converter em horas, o tempo total que cada componente permanece ligado e multiplicar pelo valor de referência do consumo energético pertinente a cada um dos componentes apresentados na tabela supracitada. Resultando na Equação 5.3.2.1, apresentada a seguir:

(5.3.2.1)

$$\text{Autonomia (horas)} = \frac{\text{Fonte [Capacidade total de energia (mAh)]}}{\text{Sensor [Tempo em uso (horas) * Consumo (mAh)]}}$$

Para facilitar a compreensão da Equação 5.3.2.1, é apresentada uma simulação de cálculo na Figura 21, que aponta na autonomia da plataforma. Para tal, conhecendo a capacidade máxima de armazenamento da bateria, expressa em miliampère-hora, é possível estimar a autonomia do sistema proposto, sem que seja necessário efetuar a recarga ou a troca da fonte de corrente alternada, quando a plataforma utilizar tal tipo de energia.

Figura 21 – Simulação de cálculo da autonomia energética de um componente



Fonte: Autor (2019).

O mesmo cálculo pode ser utilizado para identificar o consumo energético total da plataforma SOX, bem como a autonomia da bateria. Esse valor não foi apurado pelo fato da flexibilidade do sistema em relação aos componentes que integram a plataforma. Da mesma forma, a autonomia do sistema depende da capacidade de carga da bateria e da qualidade de retenção dessa energia. Outro fator que impacta na precisão da autonomia é referente a intensidade do sinal da rede de dados, bem como da necessidade de transmissão dos valores coletados.

5.3.3 Ambiente de integração das tecnologias

Para a preparação do ambiente de desenvolvimento, a primeira atividade é a instalação do Node.JS que consiste da plataforma de aplicação, a qual é baseada na linguagem JavaScript para posterior interpretação através da máquina virtual. Em seguida foi realizada a instalação do software utilizado como editor do código-fonte, o Notepad++¹⁴, bem como do complemento que auxilia a programação nesse ambiente, o NppExec¹⁵.

A criação do serviço de banco de dados ocorreu, inicialmente, com a instalação do sistema operacional Raspbian, que é uma versão do Debian (distribuição do Linux) e foi criado para rodar no Raspberry. Com o sistema operacional em execução foi instalado o banco de dados MongoDB, realizado através do terminal do sistema operacional, de forma bastante simples. Concluída essas atividades é necessário o carregamento do serviço. A criação da base de dados e a inserção dos documentos ocorrem no ambiente de desenvolvimento em módulos criados para essas finalidades.

A comunicação com a camada remota da plataforma SOX, pode ocorrer através de um terminal, para tal o PuTTY é um software de emulação de terminal que permite estabelecer a conexão, nesse caso através da porta 2223. Uma vez estabelecida a conexão é possível realizar configurações e ajustes pela Internet. Já a camada local de comunicação entre o Arduino, *shields* e sensores foi implementada na interface de desenvolvimento própria daquele sistema.

5.4 Casos de teste

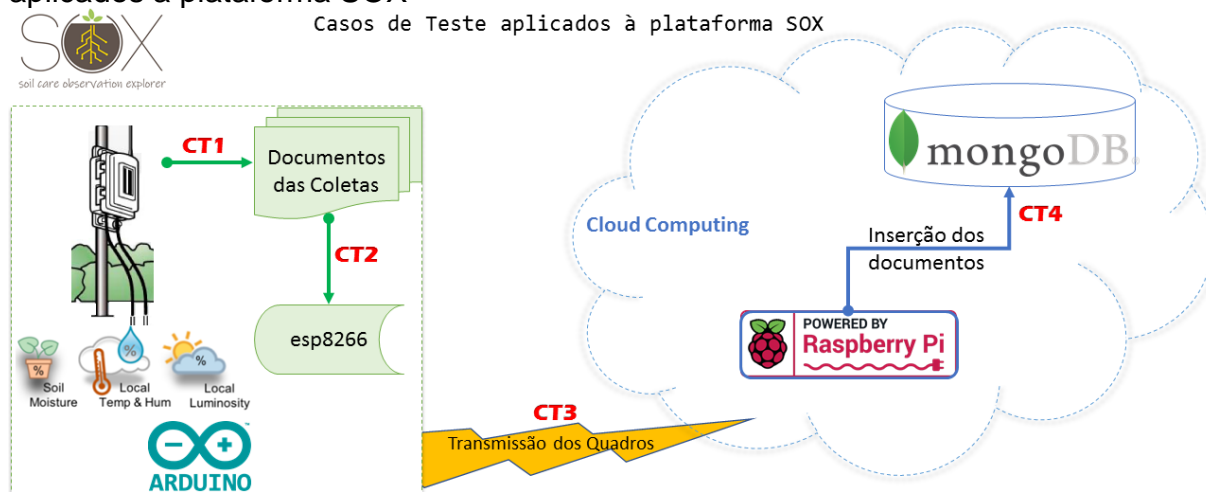
O objetivo da proposição deste plano de testes consiste na necessidade em determinar quais requisitos operacionais poderão impactar na execução da aplicação. Os testes extrapolam as condições reais de uso da plataforma para assim identificar eventuais restrições operacionais dos componentes de hardware e software embarcados nessa solução.

¹⁴ NOTEPAD. **Download center notepad**. Download Notepad++ 7.7. Disponível em: <<https://notepad-plus-plus.org/download/v7.7.html>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

¹⁵ GITHUB. **Download NppExec versão 0.6 RC3**. Disponível em: <<https://github.com/d0vgan/nppexec/releases/tag/v06-RC3>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

Como resultado destes testes são apontados os pontos de falha e as limitações da arquitetura do sistema, considerando o seu alinhamento aos requisitos especificados, minimizando os riscos relacionados ao desempenho. Esta seção apresenta alguns resultados obtidos com o modelo proposto. Para tal foi elaborado este plano de testes, conforme detalhado na Figura 22, que consiste no esquema estruturado para a análise dos casos de teste que trata desde as etapas de coleta dos dados pelos sensores instalados no ambiente, passando pelas trocas de mensagens entre os distintos níveis computacionais, até a camada remota de persistência dos dados.

Figura 22 – Diagrama dos quatro níveis de análise elencados nos casos de teste (CT), aplicados a plataforma SOX



Fonte: Autor (2019).

No cenário proposto na Figura 22 são realizados os testes de Desempenho, Carga e *Stress*, descrevendo os resultados obtidos nas simulações de uso do sistema por um considerável número de usuários e a realização de transações simultâneas à base de dados. Esses testes permitem a análise, o monitoramento dos resultados e fornecem importantes indicadores sobre a capacidade operacional suportada pela aplicação.

Os objetivos dos testes são pautados pelas características finais desejadas do software, desde a captura dos dados ambientais, transmissão e a integridade dos valores persistidos no banco de dados. Considerando os requisitos funcionais, bem como os requisitos não funcionais especificados na fase inicial do ciclo de vida de construção do produto de software e dos seus artefatos.

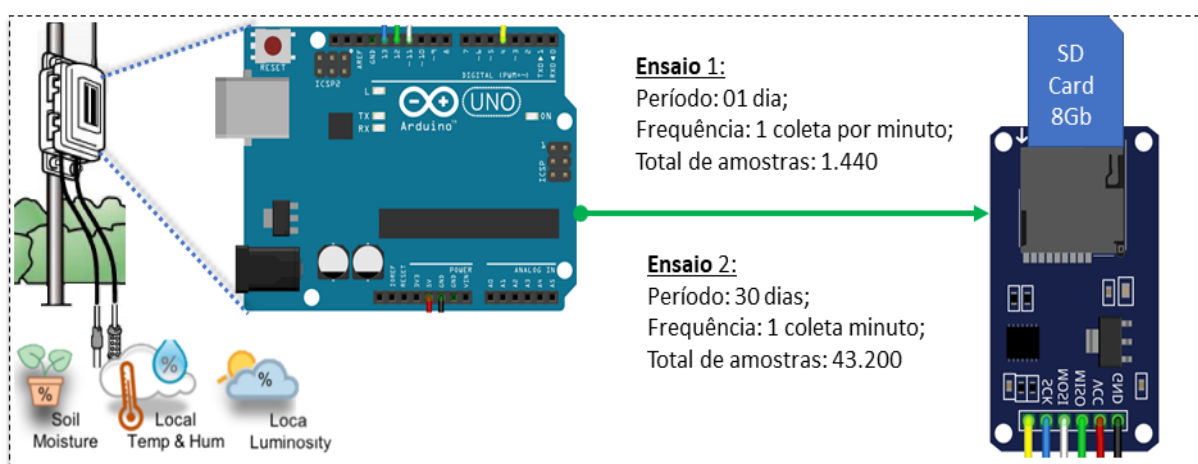
5.4.1 CT1 Caso de teste da coleta de dados pelos nós sensores

Na arquitetura do sistema proposto, cada nó sensor está ligado fisicamente a um concentrador ou *gateway*, responsável pelo gerenciamento da comunicação. O concentrador pode possuir um ou vários dispositivos coletando as informações ambientais, contudo, a comunicação ocorre de forma síncrona e sequencial, ou seja, o concentrador realiza a requisição através de uma porta de comunicação, analógica ou digital, obtendo como resposta um valor de referência que pode variar entre 0 e 1023, tal valor é o padrão de resposta comum a todos os sensores analógicos, podendo ser tratado diretamente no sensor ou na biblioteca oferecida juntamente ao dispositivo e, ainda, o tratamento do valor pode ocorrer internamente no código-fonte da solução desenvolvida.

Frente ao exposto, este nível de comunicação não demanda de um teste de carga, visto que o tempo de resposta é imediato, tampouco necessita de um teste de estresse, pois ocorre uma transação para cada requisição. Conforme apresentado na Figura 23, para avaliar a performance deste nível de comunicação do sistema, será realizado um teste de estabilidade, considerando os valores obtidos, em um determinado período de tempo, durante a leitura de cada nó sensor e, uma avaliação do conjunto de dados que compõem uma amostra, a qual contém valores dos três sensores.

Figura 23 – Caso de teste 1, coleta de dados pelos nós sensores

Caso de teste 1, coleta de dados pelos nós sensores



Fonte: Autor (2019).

Os primeiros testes, identificados como Ensaio 1, foram realizados em laboratório, obtendo-se uma leitura por minuto, de cada um dos sensores, pelo período de um dia, ou seja, 24 horas multiplicadas por 60 minutos, obtendo-se como resultado, um universo composto por 1.440 amostras, com quatro valores ambientais cada. Foram coletados valores da umidade do ar e temperatura, através do sensor DHT22, além da luminosidade e umidade do solo.

Para validar a integridade das amostras, foi inserido um contador interno no sistema, logo, ao atingir o universo de amostras desejadas o sistema automaticamente interrompe as coletas dos valores ambientais. Desta forma é possível observar a discrepância entre o número de documentos inseridos no banco e os valores coletados, isto sinaliza a perda de pacotes na transmissão. Contudo, todos os valores coletados no ambiente de testes foram armazenados com sucesso no banco de dados. O conteúdo médio de cada amostra foi de 32 *Bytes*, composta pelos seguintes valores:

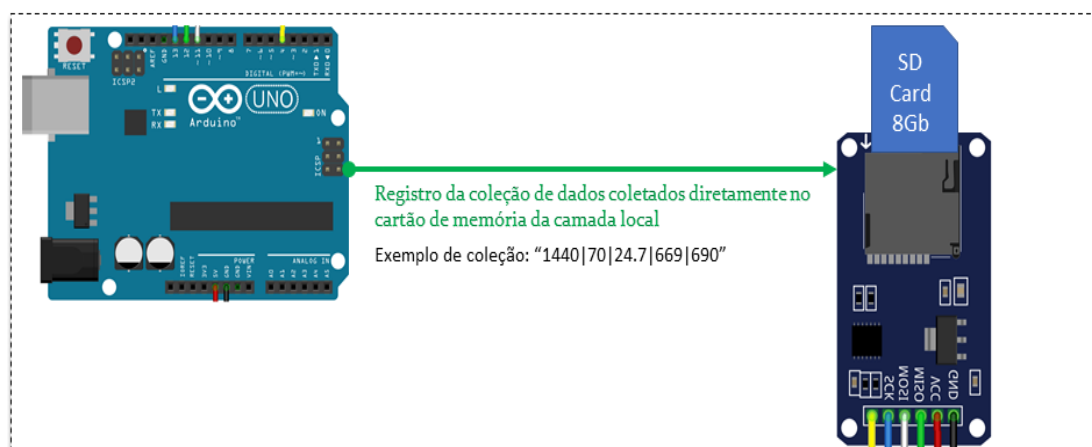
- a) contador: valor numérico, inteiro, auto incrementado, variando de 0 a 1.439, conforme estabelecido para a realização deste experimento;
- b) umidade do ar: valor numérico, inteiro, apresentando em percentual e com variação entre 0 e 100. Obtido pelo sensor DHT 22 (*digital humidity and temperature sensor*);
- c) temperatura: valor numérico com ponto flutuante (decimal), obtido pelo sensor DHT22 e com variação de -40 a 80;
- d) luminosidade: valor numérico, inteiro, obtido através do sensor LDR (*Light Dependent Resistor*), com variação entre 0 e 1.023, onde 0 significa incidência máxima de luz e 1.023 indica a ausência de luminosidade incidindo sobre a resistência do sensor;
- e) umidade do solo: valor numérico, inteiro, obtido pelo higrômetro do solo, variando entre 0 e 1.023, onde 0 significa solo com elevado volume de água. Já o valor de 1.023 indica a ausência de condutividade pela água;

Compõe estes parâmetros o separador *pipeline* "|", indicando o término de cada atributo. Exemplo de uma amostra coletada: "1440|70|24.7|669|690", onde 1.440 significa o identificador da amostra coletada. O valor 70 é a umidade relativa do ar (70%). O parâmetro 24.7, corresponde a temperatura em graus Celsius (°C). O valor 669 é relativo à luminosidade do ambiente. Já o valor de 690 refere-se à umidade do solo.

5.4.2 CT2 Caso de teste do armazenamento local

Conforme já exposto na Figura 16, que trata da sequência de mensagens trocadas entre os objetos do sistema, o armazenamento local fica restrito a persistência dos dados coletados pelos sensores ligados diretamente ao microcontrolador e, como tal, precisa suportar as inserções de documentos em um ciclo do sistema, o qual ocorre conforme delimitação do tempo das coletas. A Figura 24 exibe o caso de teste referente ao sistema de coleta local dos dados. Cabe ressaltar que para esse teste, a questão de desempenho fica limitada ao tempo de resposta de alguns sensores, os quais podem apresentar um tempo mínimo de leitura de dois segundos, ou seja, havendo requisições em intervalo menor, o valor será repetido.

Figura 24 – Caso de teste 2, armazenamento dos registros climáticos na camada local
CT2 Caso de teste do armazenamento local



Fonte: Autor (2019).

O teste de carga para o armazenamento local pode ser obtido em relação a capacidade de armazenamento pelo tamanho de cada documento gerado na amostra. Em primeira análise foi definido o armazenamento apenas de um identificador da coleta, seguido dos valores ambientais e o separador dos campos, tais como no exemplo: "1440|70|24.7|669|690". Contudo, para facilitar a identificação única da coleta, bem como a validação dos valores, foram adicionados a cada leitura um campo de origem, um validador, o qual agrupa todos os campos em uma expressão e ainda, o horário referente a esta coleta. O tamanho de todos os campos que armazenam os valores ambientais foi fixado em 3 Bytes.

5.4.3 CT3 Caso de teste de acessos concorrentes ao MongoDB

O teste de acesso concorrente expõe a escalabilidade do sistema, através da simulação de requisições simultâneas ao banco de dados. Conforme exposto na Figura 25, as requisições emulam os acessos de clientes ao Banco de dados MongoDB, o qual está hospedado em um servidor Raspberry PI, um equipamento de baixo custo que também será avaliado quanto ao seu poder computacional, bem como a capacidade de manter o sistema estável e disponível.

Figura 25 – Caso de teste 3, dos acessos concorrentes ao MongoDB



Fonte: Autor (2019).

Para o teste de acesso concorrente é utilizada a ferramenta YCSB, a qual auxilia na avaliação de diferentes sistemas em nuvem que fornecem acesso de leitura/gravação on-line aos dados, conforme apresentado na Figura 4, a qual demonstra a arquitetura da ferramenta.

Conforme relatado por Cooper *et al.* (2010, p.148):

O YCSB é um programa Java para gerar os valores que serão carregados no banco de dados, bem como as operações que compõem a carga de trabalho. A execução de tal carga direciona vários encadeamentos do cliente, onde cada *thread* executa uma série sequencial de operações, fazendo chamadas para a camada de interface do banco de dados, tanto para carregar o banco de dados (a fase de carga) quanto para executar a carga de trabalho (a fase de transação).

Nesse sentido, as *threads* controlam a taxa na qual são geradas as solicitações, permitindo manipular diretamente da carga oferecida ao banco de dados.

Para o teste proposto de avaliação do desempenho no MongoDB, em acessos concorrentes, o banco de dados foi submetido a um conjunto que simula 2, 4, 8, 16 e 32 *threads* (clientes trabalhando de forma concorrente), onde o volume de transações para cada conjunto é de 100.000 operações, destas, 90% são inserções de novos documentos e 10% de leituras dos valores gravados.

5.4.4 CT4 Caso de teste de desempenho do banco de dados MongoDB no Raspberry PI

O teste de desempenho do banco de dados, no escopo deste trabalho e demonstrado no esquema da Figura 26, são priorizadas as inserções de novos registros, pois o maior volume de operações quando a solução estiver no cenário de produção, será justamente o de vários dispositivos centrais enviando as coletas dos dados capturadas pelos nós sensores. Conforme sugerido por Cooper *et al.* (2010), o YCSB foi desenvolvido para avaliar o desempenho das ferramentas NoSQL em ambientes distribuídos. A ferramenta de *benchmark* YCSB, oferece ainda, a possibilidade de realizar ajustes nos parâmetros para a realização dos testes de desempenho do banco de dados, ou seja, é possível configurar o volume de carga para cada operação de inserção, alteração ou leitura dos documentos.

Figura 26 – Caso de teste 4, de desempenho do MongoDB no Raspberry PI

CT4 Caso de teste de desempenho do MongoDB no Raspberry PI



Fonte: Autor (2019).

Para a realização dos testes, foram definidos *workloads*, ou seja, as cargas de trabalho, contendo uma tabela de registros, cada qual com um campo "F". Cada registro é identificado por uma chave primária, que é uma *string* (conjunto de caracteres), como "user234123". Cada campo é denominado campo0, campo1 e assim por diante. Os valores de cada campo são uma cadeia aleatória de caracteres

ASCII de comprimento L. Por exemplo, nos resultados relatados nesse documento, os registros possuem 1.000 bytes, dos quais $F = 10$ campos, cada um com $L = 100$ bytes.

Cada operação de acesso ao banco de dados é escolhida aleatoriamente entre as seguintes:

- a) inserir um novo registro;
- b) atualizar um registro substituindo o valor de um campo;
- c) ler um registro, um campo escolhido aleatoriamente ou todos os campos;
- d) explorar os registros em ordem, percorre os documentos começando com uma chave de registro escolhida aleatoriamente. O número de registros a serem digitalizados é escolhido aleatoriamente.

Para a avaliação da vazão suportada pelo banco de dados será utilizada apenas a operação de inserção dos valores. Visto que a operação de alteração dos dados registrados não existe na plataforma SOX.

O capítulo 6 elenca os resultados obtidos com a realização do plano de testes em alinhamento aos objetivos específicos do trabalho, bem como a forma como os dados serão disponibilizados ao usuário. São apresentados os refinamentos realizados nos processos internos da plataforma SOX, a capacidade dos componentes em suportar situações de estresse e carga.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, são apresentados os resultados obtidos com a realização dos casos de teste, onde a plataforma SOX é segmentada por nível de dependência dos componentes e cada conjunto passa por cargas de trabalho específicas.

6.1 Estabilidade dos sensores

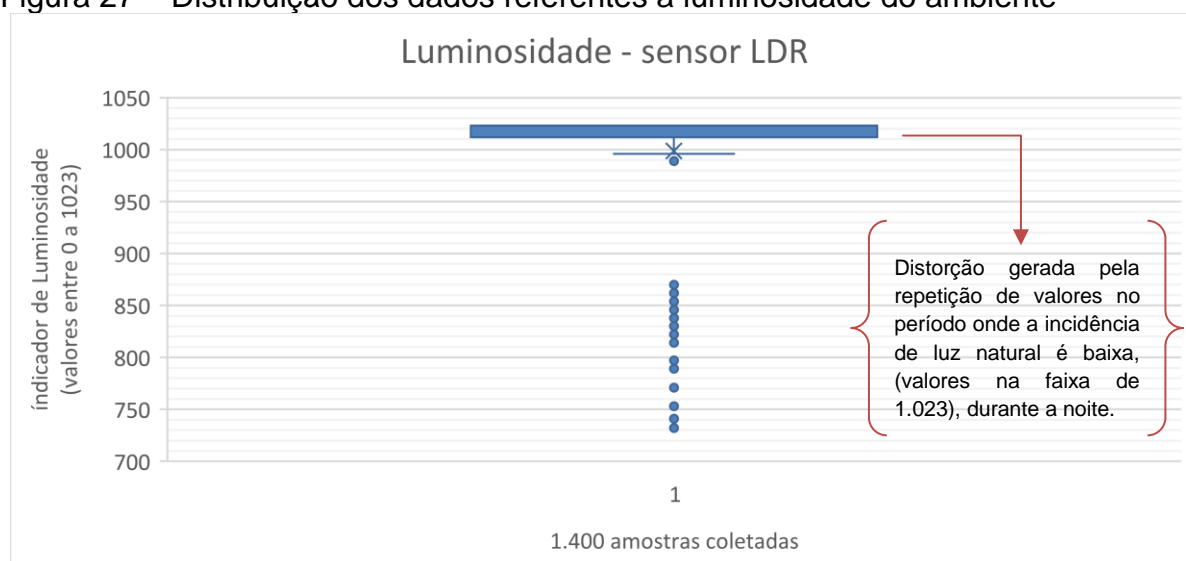
Os valores obtidos com a realização do caso de teste um (CT1), da coleta de dados pelos nós sensores, expuseram algumas falhas metodológicas na abordagem desses testes, pois as variações normais do ambiente e captadas pelos sensores impossibilitaram a avaliação da estabilidade dos mesmos. Conforme sugerido por Valladares-Neto *et al.* (2017), o *boxplot* é um recurso visual que resume os dados para exibir a mediana, quartis e os valores pontuais máximos e mínimos. Portanto, apresenta valores de tendência central, dispersão e simetria dos dados agrupados.

Conforme exposto no gráfico da Figura 27, as distribuições dos valores obtidos no decorrer das 24 horas foram distorcidas. Visto que o sensor de luminosidade do ambiente captura valores entre 0 e 1.023, tal faixa é comum a todos os sensores analógicos, nesse caso, o zero significa forte incidência de luz e 1.023 é a ausência de luz passando pela resistência do transistor. Como durante o dia há uma grande variação nos valores registrados e, por outro lado, durante a noite o valor é constante, ou seja, muito próximo ao limite.

A Figura 27, evidencia a concentração de valor próximos ao 1.023, que aponta a ausência de luz, contudo, tal ausência pode ser resultante de falhas nas leituras realizadas pelo sensor. Como as amostras não resultaram em uma distribuição normal dos valores, a incidência de luz sobre o sensor resultou em valores discrepantes e, como tal, considerados *outliers*¹⁶.

¹⁶ *Outlier*. são valores atípicos e extremos.

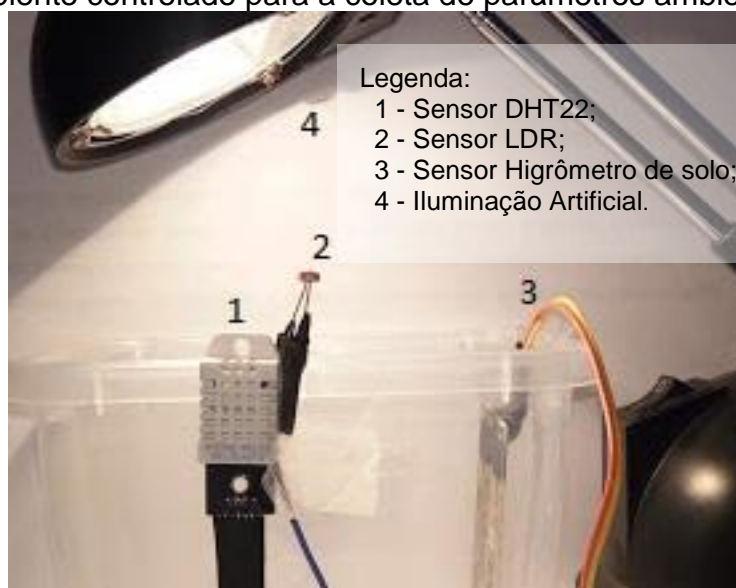
Figura 27 – Distribuição dos dados referentes a luminosidade do ambiente



Fonte: Autor (2019).

Como resultado deste primeiro ensaio, foi percebida a necessidade de dirimir as variações do ambiente onde os sensores coletam os dados. Assim, é apresentado na Figura 28, uma forma de buscar a homogeneidade dos parâmetros ambientais, visando observar exclusivamente a estabilidade dos valores gerados pelos sensores, para tal, foi criado em laboratório, um ambiente controlado.

Figura 28 – Ambiente controlado para a coleta de parâmetros ambientais



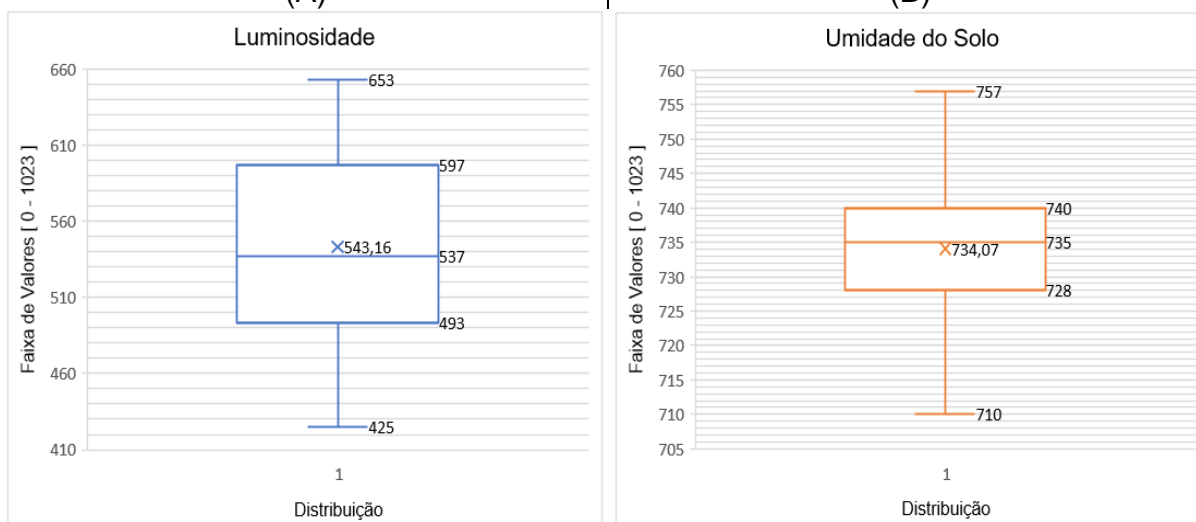
Fonte: Autor (2019).

A luminosidade foi controlada com a instalação de uma fonte artificial de luz, identificada na Figura 28 pelo número 4, contendo uma lâmpada alógena com

potência de 20 watts. Esta lâmpada permite, ainda, uma certa estabilidade na temperatura captada pelo sensor DHT22. Já o sensor higrômetro, responsável pela obtenção da umidade do solo, foi instalado em um recipiente com água, mantendo a estabilidade quanto a presença de água no ambiente. O único parâmetro que não foi controlado, por limitações na estrutura disponível no laboratório, consiste na umidade do ar, contudo este sensor está incorporado no DHT22, responsável pela leitura da temperatura, logo, a estabilidade nos valores capturados pode ser observada através deste outro parâmetro.

Após os ajustes na experimentação foi realizado um novo experimento, nomeado de Ensaio 2, agora com uma distribuição contendo 43.200 amostras, resultantes de uma leitura por minuto nos sensores, durante as 24 horas do dia, no período de um mês. Os valores capturados pelos sensores formam uma série temporal de dados. “A chamada série temporal, consiste em dados observados em instantes ordenados do tempo” (MORETTIN; BUSSAB, 2010, p. 24). A Figura 29 exibe o gráfico de caixa (*boxplot*), gerado a partir dos valores obtidos utilizando os sensores de luminosidade, umidade do solo, temperatura e umidade do ar.

Figura 29 – Distribuição dos valores de luminosidade (A) e umidade do solo (B)



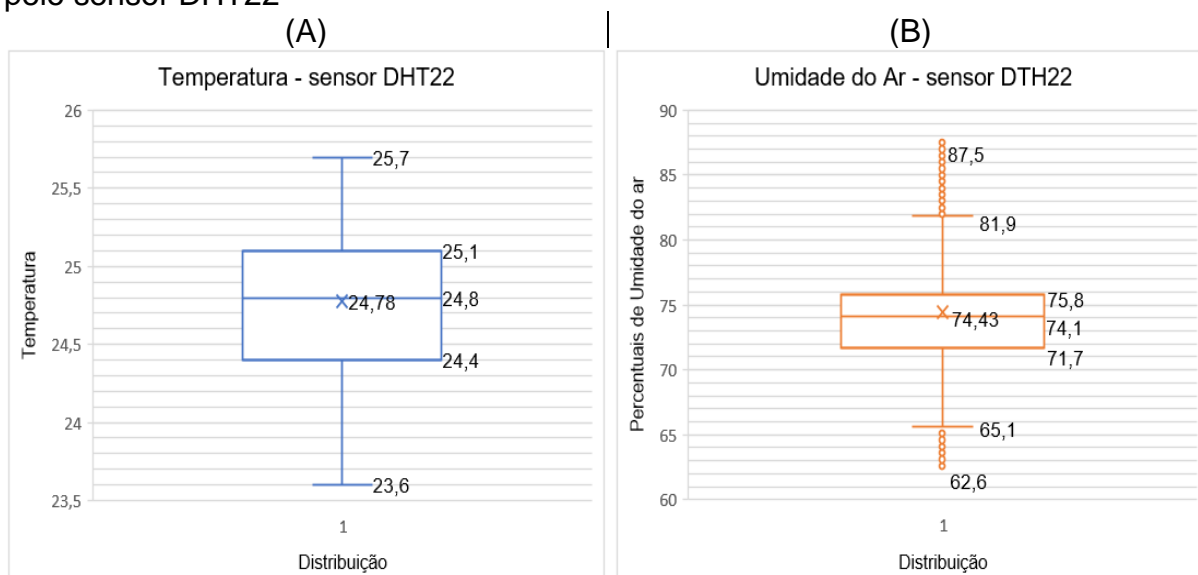
Fonte: Autor (2019).

Os valores de umidade do solo apresentados na Figura 29 (B) exibem os limites mínimo e máximo bastante próximos em função do sensor instalado em um recipiente com a distribuição e quantidade de água homogêneas. Os valores nas margens de

limite inferior e superior apresentam uma variação de apenas 2,4% em relação ao bloco de concentração da distribuição, com os valores do bloco entre 728 e 740.

A distribuição dos valores coletados de luminosidade expostos na Figura 29 (A) tem uma amplitude maior em função da influência da luz natural do ambiente, ainda assim, os valores não são discrepantes. Considerando ainda que a escala de valores varia do zero ao 1.023, a variação não interfere na observação de possíveis falhas nas coletas. Já na Figura 30 é exposta a distribuição dos valores coletados através do sensor DHT22 e referentes a temperatura do ambiente e umidade relativa do ar.

Figura 30 – Distribuição dos valores de temperatura (A) e umidade do ar (B) coletados pelo sensor DHT22



Fonte: Autor (2019).

A amplitude térmica registrada pelo sensor DHT22, observada na Figura 30(A), foi de apenas 9% entre os valores de 23,6 °C e 25,7 °C. Demonstrando uma estabilidade bastante importante do sensor em ambiente controlado. Cabe ressaltar que as coletas foram realizadas ao longo de um mês, computando 43.200 amostras.

Os parâmetros coletados pelo mesmo sensor da temperatura, o DHT22, o qual também traz embarcado o sensor de umidade relativa do ar e, nesse aspecto de umidade, foi observada na Figura 30 (B) a ocorrência de alguns valores considerados *outliers*, algo justificável, visto que essa questão não foi controlada nos ensaios em laboratório. Contudo os valores estão muito próximos, com pouca discrepância, pois os limites observados são de 62,6% a 87,5% de umidade relativa do ar. Considerando que este aspecto não foi controlado com os instrumentos disponíveis no laboratório e,

que as variações entre o dia e a noite, ou ainda, a ocorrência de dias ensolarados e dias chuvosos, é plausível considerar que há uma estabilidade nos valores coletados.

Como resultados deste caso de teste, foram realizadas melhorias no sistema de coleta dos dados, pois parâmetros como a luminosidade devem ser ignorados quanto a inserção no banco de dados, especialmente, no período da noite, evitando assim, as distorções nas análises dos dados, pois ocorre uma repetição de valores muito próximos ao 1.023, valor limite de resposta do sensor analógico que nesse caso se refere a ausência de luz captada pelo sensor.

Outra constatação importante observada no CT1, diz respeito a estabilidade do módulo local da plataforma SOX, pois no período de trinta dias, realizando uma coleta por minuto, sem interrupções, nenhuma falha de coleta ou desgaste do conjunto foi observada.

6.2 Armazenamento local dos dados e estruturação das mensagens

Como resultado da execução do caso de teste dois (CT2), do armazenamento local, a Tabela 10 demonstra uma simulação para coletas utilizando de um até quatro sensores, com leituras a cada segundo. Na Tabela 10, a coluna denominada de “Tempo para o esgotamento em Meses”, representa o esgotamento da capacidade de armazenamento do sistema proposto, em meses, na geração de um documento por segundo.

Tabela 10 –Tolerância à carga de armazenamento de dados na camada local

Número de sensores	Dimensão das Mensagem em Bytes	Capacidade Total de Documentos*	Tempo para o esgotamento em Meses ¹⁷
1	54	159.072.863	61
2	66	130.150.524	50
3	78	110.127.367	42
4	90	95.443.718	36

Fonte: Autor (2019).

¹⁷ Considerando a memória com capacidade de armazenamento de 8GB (8.589.934 Bytes)

O tamanho mínimo de uma mensagem gerada pelo sistema é de 54 Bytes, pois basicamente, um registro possui a identificação da origem, um *token*, a data e hora da gravação do registro, adicionado ainda, os separadores de campos, nesse caso, um *pipeline* (|). A Figura 31 exibe dois *layouts* de mensagem: o primeiro *layout* identificado como “*Layout original de mensagem:*”, o qual apresenta a primeira concepção de mensagem utilizada no sistema; o segundo *layout* é identificado como “*Layout ajustado de mensagem*”, onde demonstra a evolução na formatação e estruturação dessas mensagens, visando facilitar a manipulação dos dados. Com isso o comprimento mínimo das mensagens geradas pela plataforma SOX ocupam cinquenta e quatro (54) Bytes.

Figura 31 – Exemplo de mensagens geradas pelo sistema e armazenadas na camada local

+ *Layout original de mensagem:*

“1440|70|24.7|669|690”



+ *Layout ajustado de mensagem:*

orig:000|toke:000|umid:000|hora:00/00/00/0000;00:00:00

Fonte: Autor (2019).

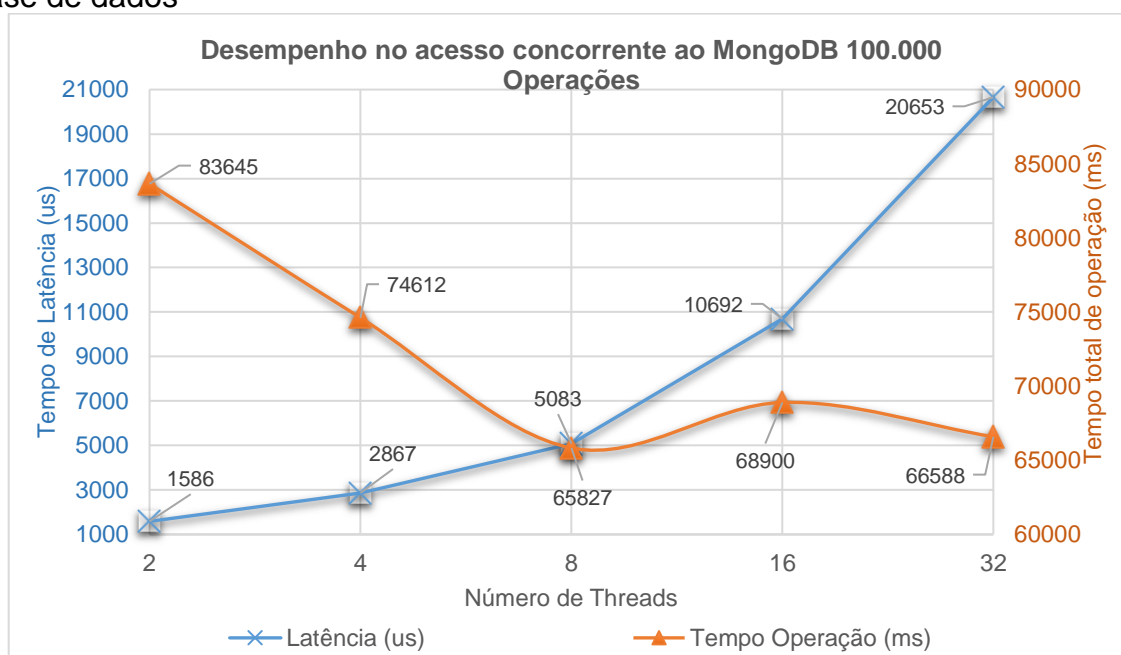
Conforme destacado na Figura 31, o valor de cada campo obtido através da leitura dos sensores possui tamanho padronizado de 3 Bytes e outros 5 Bytes da respectiva identificação da chave. Para cada novo sensor adicionado ao sistema a mensagem é incrementada em 12 Bytes, sendo 8 bytes conforme já descrito anteriormente, acrescidos de 3 Bytes que integram o campo de *token* e 1 Byte do separador desse novo campo.

Cabe destacar que o armazenamento local dos dados é provisório, pois estes valores são enviados e persistidos no banco de dados disponibilizado na nuvem. Imediatamente após o envio, tais valores podem ser excluídos do cartão de memória, ou ainda, em períodos de tempo previamente definidos pela equipe de consultores técnicos. Desta forma, a solução proposta atende integralmente às demandas do sistema, mas também oferece a possibilidade de operação desconectada da rede de dados, além de observar as questões de baixo custo.

6.3 Acesso concorrente

Como resultado do caso de teste três (CT3), o qual verifica a capacidade da plataforma SOX em suportar acessos concorrentes ao banco de dados MongoDB, a Figura 32 apresenta o cruzamento dos valores de tempo de latência, ou seja, do tempo médio que corresponde a requisição e a completude na resposta da operação e, o gráfico apresenta ainda, o tempo total para a realização das operações. Contudo é necessário destacar que o tempo de latência está expresso em microssegundos (μ s), já os tempos totais para a realização das operações são colocados em milissegundos (ms). Estes valores estão apresentados em função dos threads que estão na base do gráfico (eixo x).

Figura 32 – Avaliação do desempenho do MongoDB com acessos concorrentes à base de dados



Fonte: Autor (2019).

Conforme evidenciado pela Figura 32, o tempo total para a execução das 100.000 operações é mais elevado quando executados em 2 ou 4 threads, por outro lado, entre 8, 16 e 32 threads, o tempo total para a conclusão desse mesmo volume de operações apresenta uma variação de apenas 3.000 milissegundos, ou seja, uma diferença de 3 segundos. Já a latência aumenta exponencialmente à medida que são

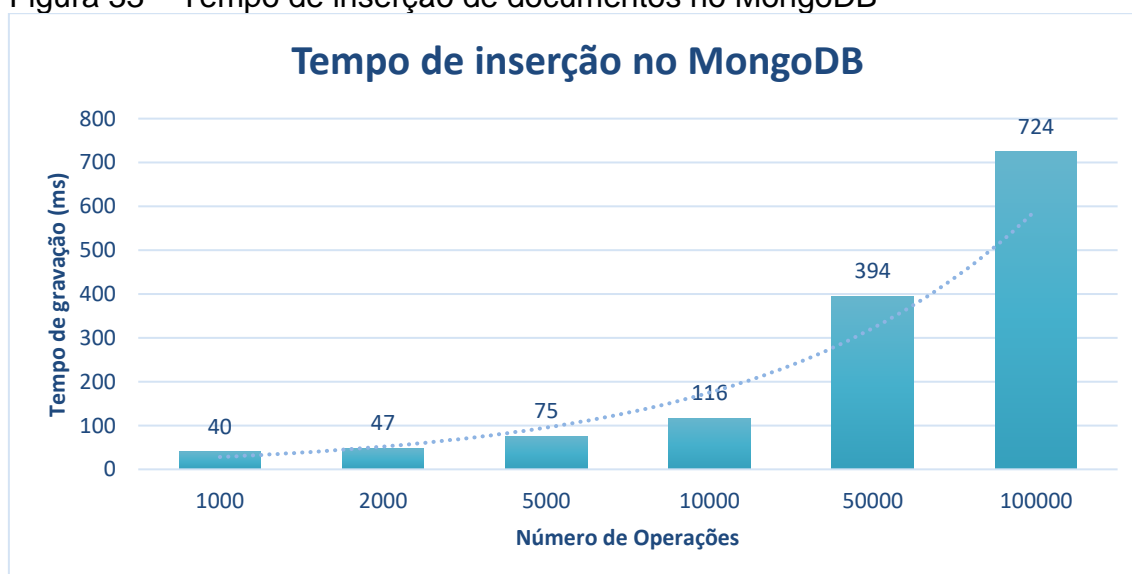
inseridas novas threads, com uma amplitude de valor entre 1.500 e 20.000 microssegundos, ou seja, o valor máximo observado é de 0,02 segundos.

Cabe salientar que cada documento manipulado nestas operações de acesso ao banco de dados possui uma estrutura com 100 campos de 10 Bytes cada, tamanho este, equivalente ao demandado pela inserção de um sensor no sistema, pois as informações de identificação de chave e o respectivo valor ocupam 8 Bytes. Neste sentido, os resultados do teste demonstram a robustez da camada remota, a qual mantém o desempenho, mesmo com o acesso concorrente de vários usuários, sem a degradação da velocidade e, ainda, permite um volume de operações com a manipulação de 100.000 documentos, cada qual com uma estrutura equivalente a 100 sensores coletando dados ambientais.

6.4 Escalabilidade

Os resultados obtidos com a execução do caso de teste quatro (CT4) que busca avaliar o desempenho do banco de dados MongoDB quando carregado em um equipamento Raspberry PI, demonstra a capacidade de inserção de novos registros, assim, a Figura 33 exibe o tempo de gravação de novos documentos ao banco de dados, de forma assíncrona, ou seja, uma requisição por ciclo. Para tal, foram simulados volumes de inserção de dados que variam de 1.000 até 100.000, operações de inserção no MongoDB.

Figura 33 – Tempo de inserção de documentos no MongoDB



Fonte: Autor (2019).

Numa primeira análise, percebe-se uma elevação fora da curva de tendência acima das 10.000 operações no banco de dados, algo que é justificado pelo salto no volume de operações, as quais passam para 50.000 e 100.000, inserções, causando uma distorção. Contudo, conforme demonstrado na Tabela 11, o incremento significativo no volume de transações não impacta na resposta do banco, pelo contrário, o tempo de cada inserção é consideravelmente mais baixo.

Tabela 11 – Tempo médio de inserções de documentos no MongoDB

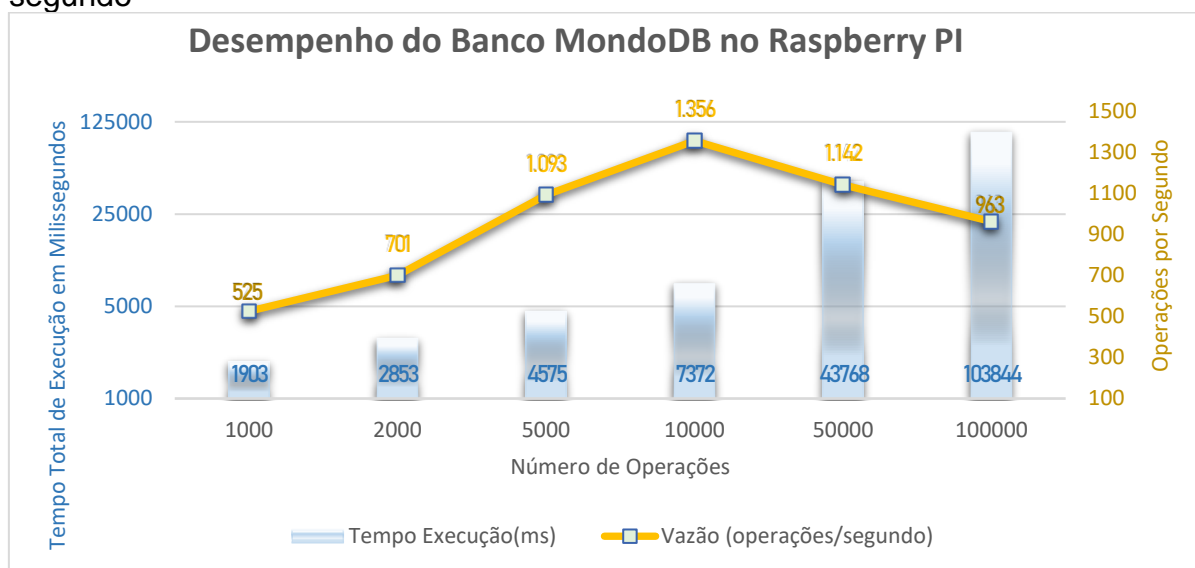
Volume de operações de inserção	Tempo Médio de Inserção (ms)
1.000	0,040
2.000	0,024
5.000	0,015
10.000	0,012
50.000	0,0079
100.000	0,0072

Fonte: Autor (2019).

Tendo como base os resultados expostos na Tabela 11 e visualizados graficamente na Figura 34, a latência, ou seja, o tempo necessário para que o banco de dados receba e atenda a requisição é diluído no volume de operações. Desta forma, mesmo submetendo o conjunto MongoDB, em execução no Raspberry PI, a um volume de transações de cem mil (100.000) operações, há uma estabilidade no tempo de atendimento.

A Figura 34 apresenta o desempenho do banco de dados quando submetido a um estresse de carga de operações que variam entre inserções, leituras e alterações. A configuração para execução deste teste foi de 80% de inserções, 10% de alterações e 10% de leituras. Esse volume de trabalho simula a demanda do sistema coleta dos parâmetros ambientais.

Figura 34 – Desempenho do MongoDB em relação ao volume de operações por segundo



Fonte: Autor (2019).

A relação entre o volume de operações realizadas em função do tempo total gasto para completar a tarefa, ou seja, a vazão de dados suportada pela plataforma SOX é chamado tecnicamente de *Throughput*¹⁸. Um sistema que processa um grande volume de transações pode aumentar o tempo de resposta e conseqüentemente o *Throughput*. Neste sentido, percebe-se um ótimo desempenho do conjunto testado, quando o volume de operações chega a uma média de 1.356 operações por segundo, ao manipular 10.000 documentos. Considerando que a estrutura de cada documento, equivale ao volume de dados gerados por 100 sensores, conforme as características já apresentadas nesse trabalho, o conjunto garante uma estabilidade e robustez mesmo quando houver um volume massivo de operações de acesso ao banco de dados.

6.5 Visualização de valores coletados

Para que os valores referentes a cada variável ambiental sejam visualizados e interpretados pelos usuários, a plataforma SOX oferece uma interface, a qual

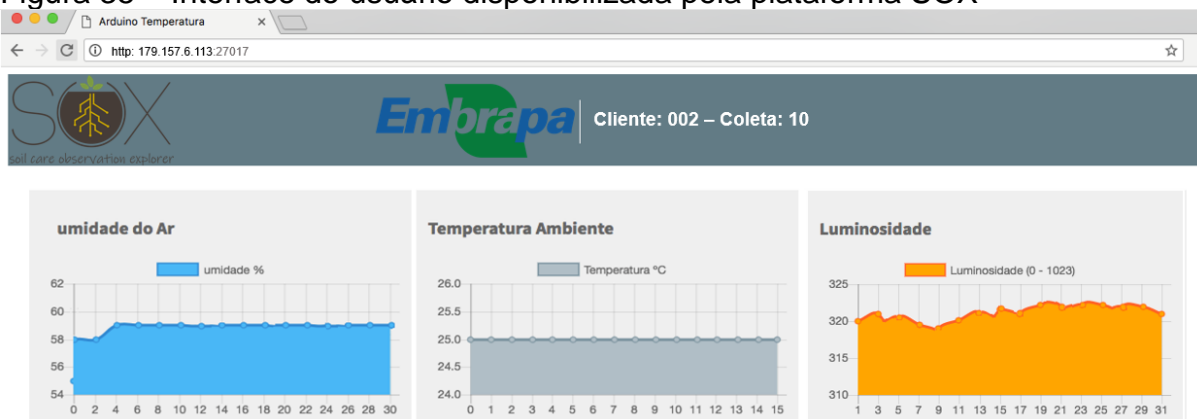
¹⁸ *Throughput* ou taxa de transferência é uma medida de quantas unidades de informação um sistema pode processar em um determinado tempo.

possibilita o acompanhamento de tais variáveis à medida que sejam inseridas no banco de dados. A atualização dos gráficos plotados na tela do dispositivo ocorre de forma automática, sem a necessidade de qualquer interação do usuário com a aplicação.

É importante ressaltar que o aplicativo de visualização dos dados não demanda de nenhuma configuração prévia ou instalação de software adicional no dispositivo do usuário. Outro aspecto importante é referente ao volume de dados baixados para o dispositivo computacional, os quais são eliminados assim que o navegador é fechado. Dessa forma, evita a sobrecarga no lado do cliente, bem como a visualização de valores desatualizados.

Na Figura 35 é exibido o *dashboard* criado através da biblioteca Chart.JS, a qual possui código-fonte aberto e utiliza elementos de tela em HTML5 para plotar gráficos. A biblioteca oferece seis módulos (bar, pizza, linha, rosca, radar, área polar) que podem ser carregados individualmente para minimizar o tamanho da biblioteca dentro do projeto. Essencialmente, o código carregado é apenas o demandado para cada visualização. Além disso, oferece suporte em todos os navegadores modernos e tem suporte ao mais antigos, como o Microsoft Internet Explorer versão 7 e 8.

Figura 35 – Interface do usuário disponibilizada pela plataforma SOX



Fonte: Autor (2019).

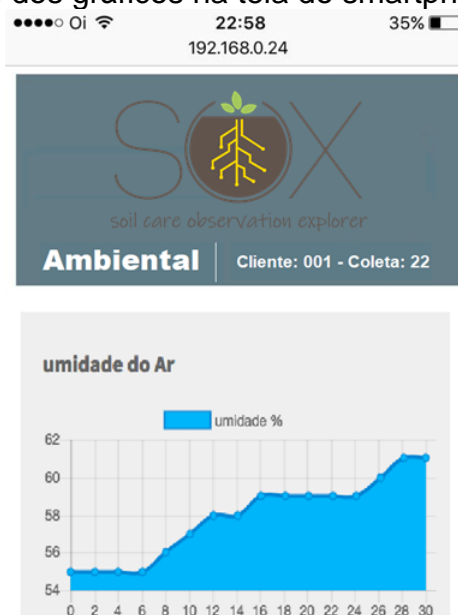
Cada cliente possui uma identificação única e acessa exclusivamente os dados referentes à sua área produtiva. É possível identificar na Figura 35, na barra acima dos gráficos, o nome do cliente, nesse caso, chamado de “Ambiental”, seguido pela área produtiva, “Cliente: 037” e o número da coleta, “Coleta: 342”. Caso o cliente

possua várias coletas na mesma área é criada uma barra de rolagem à direita do navegador, possibilitando o acompanhamento simultâneo de todos os indicadores.

Os gráficos apresentados na Figura 35 seguem o mesmo padrão de exibição dos dados, onde o “eixo x”, na horizontal, se refere ao número da amostra. Já o “eixo y”, na vertical, apresenta os valores pertinentes a cada sensor. Ou seja, o gráfico da umidade apresenta o percentual de umidade relativa do ar. O sensor de temperatura traz os valores em graus Celsius e, na luminosidade, a faixa de valores, entre 0 e 1023, que são relacionados a incidência de luz sobre o sensor.

Para este trabalho, a virtude em adotar a biblioteca Chart.JS está no tamanho demandado, pois consome apenas 11 kB. Outro aspecto relevante está na capacidade de adaptação ao tamanho de tela do dispositivo computacional que acessa aos gráficos, conforme observado na *dashboard* na Figura 35 gerado por essa ferramenta.

Figura 36 – Apresentação dos gráficos na tela do smartphone



Fonte: Autor (2019).

A biblioteca Chart.JS¹⁹ tem como característica bastante relevante a capacidade de ser responsiva, ou seja, os gráficos são redimensionados e

¹⁹ O Chart.js é uma biblioteca desenvolvida em JavaScript para criação de gráficos em aplicações web.

visualizados adaptando-se ao tamanho da janela do navegador ou a dimensão da tela, conforme o dispositivo computacional que está requerendo o acesso. Este atributo permite a visualização dos gráficos de forma clara, sem distorções e garantindo a usabilidade da ferramenta em qualquer plataforma computacional. A próxima seção apresenta as tecnologias utilizadas na construção da plataforma SOX.

6.6 Discussões

Os resultados apresentados no capítulo 6, permeiam todos os requisitos operacionais da plataforma SOX. Tais requisitos foram amplamente explorados, com o uso de instrumentos que permitem a simulação de condições equivalentes ao cenário real, por vezes, expondo o sistema a condições tão severas de estresse e carga, que talvez jamais ocorram em condições normais de uso.

Nos experimentos realizados foram identificadas possibilidades de melhorias, principalmente, nas questões de validação dos valores ambientais coletados. Questões como por exemplo, da luminosidade, a qual não demanda de coletas em alguns períodos de tempo, pois os valores ficam muito próximos desde o pôr do sol até um pouco antes do amanhecer.

A coleta de algumas informações além de desnecessária, em dados momentos, acaba causando distorção na análise dos dados quando são aplicados modelos estatísticos. Assim sendo, fica evidente mais uma vantagem do banco de dados não estruturado, pois o desligamento, mesmo que em regime provisório, de qualquer sensor, não gera valores dentro da estrutura e, conseqüentemente não distorce as análises dos documentos.

Outro aspecto observado durante os testes está relacionado a estabilidade dos sensores na obtenção dos valores ambientais, mesmo em coletas contínuas em frequências acima das taxas recomendadas pelos fabricantes, ainda assim, não foram detectados *outliers* ou qualquer tipo de falha nas leituras. Corroborando com Jha (2017), quando afirma que o monitoramento ambiental com base na IoT é um sistema confiável e rápido que ajuda os agricultores a monitorar o campo e melhorar o rendimento da cultura.

Conforme proposto por Salvi *et al.* (2017, p. 753):

O sistema com arquitetura dividida em três níveis, sendo um responsável pela coleta dos valores ambientais, outro responsável pelo armazenamento local e um terceiro em nuvem, utilizando uma estrutura computacional mais complexa, permite ao usuário um acesso onipresente.

Da mesma forma, a solução desenvolvida na plataforma garante uma elasticidade na coleta de dados, bem como, suporta uma escalabilidade muito grande, mantendo o desempenho quando submetido ao acesso concorrente de até 32 clientes e, com um volume de 100.000 operações, em documentos com tamanho equivalente a coleta de 100 sensores. Um nível de estresse que dificilmente o sistema irá atingir no cenário real.

A estrutura de *cloud computing* implementada nesse trabalho, utilizando o Raspberry PI em conjunto com o MongoDB, atende em completude os requisitos operacionais, seguindo a abordagem sugerida por Adetunji e Joseph (2018), os quais implementaram uma solução para coleta de dados ambientais utilizando microcontroladores, compactos, que suportaram a transferência de dados à plataforma de nuvem.

Por fim, o uso da ferramenta Chart.JS, permitiu a construção de uma interface com o usuário que apresenta as características elencadas como importantes no trabalho de Navarro-Hellín (2015), ao utilizar os recursos de tecnologia de informação e comunicação, para garantir ao usuário uma experiência que facilite à análise das informações obtidas por diferentes sensores a partir de qualquer dispositivo computacional.

A pesquisa realizada por Mekala e Viswanathan (2017, p. 3) apresentou:

As características desejáveis a uma aplicação voltada à agricultura inteligente, onde apontaram quatro eixos prioritários à uma solução desta natureza, conforme segue: aplicativo de integração; gerenciamento da informação; gestão da rede de dados; ferramenta para a coleta de dados.

Neste sentido, o resultado obtido com o desenvolvimento da plataforma SOX, que abarca desde a criação do *dashboard*, passando pelos sensores que coletam os dados ambientais, até o próprio sistema de gerenciamento do banco de dados permitem a integração e o gerenciamento das informações coletadas. Embora nesse trabalho a gestão da rede de dados não tenha ganho destaque, ainda assim, é

possível a integração com distintos sistemas de comunicação, conforme a estrutura de rede disponível na área produtiva e dos dispositivos utilizados para a transmissão.

A arquitetura sob a qual a plataforma SOX foi concebida permite seu uso em diferentes cenários relacionados a infraestrutura de rede de dados, inclusive na ausência total dos recursos de rede. Possibilidades operacionais da plataforma:

a) Com rede de dados GPRS

O concentrador Arduino é embarcado com um *chip* e uma interface de conexão, onde o custo é referente a contratação mensal do pacote de dados móveis da operadora e do *shield* GSM (US\$30,00). Contudo, quando houver a necessidade de vários concentradores espalhados na área produtiva, a recomendação é do compartilhamento desse sinal através de um roteador, pois elimina o custo da instalação do *shield* em cada ponto de coleta, bem como da distribuição de vários *chips*, o que impacta significativamente no custo e na autonomia energética da solução.

b) Com estrutura de rede WI-FI e camada remota fora da propriedade

O concentrador Arduino recebe um *shield* ESP8266 e realiza a conexão através de uma conexão WI-FI. O sinal é transmitido por torres de distribuição espalhados na área produtiva e a conexão com a Internet ocorre através do compartilhamento da conexão da propriedade rural.

c) Com estrutura de rede WI-FI e camada remota dentro da propriedade

Equivalente ao sistema anterior, contudo não necessita de conexão com a Internet e, conseqüentemente, não gera o custo da transmissão dos dados, pois a camada remota compartilha da mesma estrutura de rede.

d) Sem estrutura de rede

Nesse cenário a plataforma opera apenas na camada local e a coleta dos dados é realizada manualmente.

A plataforma SOX é flexível quanto a área de cobertura dos sensores pois está diretamente relacionada às necessidades do usuário na obtenção dos dados, na sua disposição em realizar os investimentos na replicação da solução, bem como no custo-benefício dessa escala de coleta.

Por fim, os testes realizados conferem uma confiabilidade à plataforma, em alinhamento aos requisitos operacionais e aos objetivos do trabalho. Os testes promoveram o refinamento dos processos, adequações do código fonte da solução e elaboração da documentação e demais artefatos que integram o produto de software.

7 CONCLUSÃO

A plataforma SOX, oferece a possibilidade de coleta massiva de dados ambientais, os quais podem refletir a sustentabilidade da agricultura, quanto ao nível de produtividade e o status dos recursos, com isso, as mudanças na vegetação devido ao ingresso de ervas daninhas ou estresse ambiental e saúde dos recursos do solo, impactam nos seus efeitos de fertilidade, da atividade biológica, das condições físicas, da capacidade de retenção de umidade e erosão. Por esta razão, esse trabalho enfatizou a identificação das variáveis ambientais, com o uso de sensores, visando acompanhar a produção e o status dos recursos em um sentido ecológico.

O uso de sensores para a coleta de informações ambientais impõe sérios desafios à Internet das Coisas (IoT), principalmente, na perspectiva do acesso aos dados, contudo, a plataforma SOX, possibilita a coleta, transmissão e o armazenamento de um volume massivo de parâmetros ambientais (Caso de teste 1), de forma contínua no tempo e no espaço, mesmo em um cenário com baixa disponibilidade de recursos para a comunicação dos valores observados.

As tecnologias de hardware e software que integram a plataforma SOX passaram por baterias de testes, os quais avaliaram, principalmente, a capacidade de suportar a carga (Caso de teste 2), e de estresse (Caso de teste 3), onde apresentaram bons resultados de desempenho, sem que houvesse a constatação de degradação na velocidade de operação, ou detecção de dados corrompidos e, até mesmo a ocorrência de perda de algum valor coletado. Os dispositivos que compõem a plataforma são *open source* e com custo acessível aos técnicos que farão uso dos dados coletados.

Algumas questões como redundância de armazenamento e a integridade dos valores coletados, foram atendidos pela SOX. Originando mecanismos internos para a validação e recuperação dos dados (Caso de teste 1), em situações que ocorram falhas. Foi criado, por exemplo, um campo dentro de cada documento inserido na base de dados que corresponde a integração dos valores dos sensores. Outro ponto importante é a manutenção de uma cópia de todos os valores na camada local, garantindo um grau de redundância e maior disponibilidade das informações.

O sistema demonstrou suportar a escalabilidade, pois durante os testes em laboratório (Caso de teste 3), foram simulados os acessos com até 32 usuários de forma simultânea, onde executaram 100.000 operações. Considerando que cada

documento manipulado nestas operações apresenta as características equivalentes ao volume de dados gerados por 100 sensores, isso assegura que o sistema dá suporte ao acesso concorrente, pois essa simulação equivale a um cenário contendo 32 usuários, cada qual, utilizando 5 concentradores com as 20 portas ocupadas coletando dados e transmitindo esses valores simultaneamente ao servidor do banco de dados.

Outra contribuição importante oferecida pela plataforma SOX, consiste na possibilidade de visualização dos dados, à medida que os valores sejam inseridos na base de dados. Uma vez estabelecida a conexão do *browser* ao MongoDB, os valores são automaticamente plotados na tela do dispositivo computacional, sem a necessidade de interações do usuário ou da instalação de qualquer recurso adicional ao sistema operacional.

A fase de testes foi desafiadora, pois a cada etapa, os valores ambientais eram tabulados, analisados e, como resultado, alguns ajustes foram implementados. Acarretando em um gasto de tempo em função da validação do processo refinado, da funcionalidade ajustada e do reinício das ações de teste aplicados à plataforma.

Além disso, houve a necessidade de integração da ferramenta de *benchmark* ao banco MongoDB e, ainda, do ajuste da carga de trabalho (Caso de teste 4), direcionando-a conforme os valores coletados pelos sensores. Os resultados obtidos com a bateria de testes demonstram a robustez das camadas do sistema, o qual manteve a estabilidade tolerando acessos concorrente de vários usuários, sem a degradação da velocidade e, ainda, suportando um volume de operações executadas por cada usuário durante a manipulação dos documentos.

Frente ao exposto, a plataforma SOX comprovou ser acessível a muitos usuários, aplicável às condições da área produtiva, sensível às tensões ambientais e de manejo ao longo do tempo e, permite, o armazenamento das séries históricas dos valores em uma estrutura de Banco de Dados digital.

Alguns resultados obtidos com a análise dos dados oriundos de sensores que coletaram valores ambientais, passaram por tratamentos e a aplicação de algoritmos de mineração de dados, tais valores coletados correspondem a indicadores da qualidade do solo e da produtividade de pastagens. Os resultados obtidos com a mineração desses dados compuseram um artigo, o qual compõe os anais do V Simpósio da Ciência do Agronegócio – CEPAN/UFRGS, Porto Alegre/RS, registrado sob o número: ISBN 978-85-9489-100-6, páginas 40-47, publicado no ano de 2018.

Título do artigo: Previsão da Produtividade de Pastagens a partir de Indicadores de Solo. Autoria: Leandro da Silva Camargo; José Pedro Pereira Trindade; Sandro da Silva Camargo e; Leandro Bochi da Silva Volk (coorientador).

A publicação do artigo demonstrou, de certa forma, a relevância em coletar estes dados e utilizá-los em conjunto com técnicas computacionais para a identificação dos processos do solo. Os dados coletados e o uso de mecanismos de análise para produção de informação ambientais, ainda precisam passar por validação junto aos técnicos e pesquisadores da área agrícola.

Como trabalhos futuros se sugere a criação de uma ferramenta de software, para dispositivos móveis, que seja capaz de identificar os sensores em posições georreferenciadas no mapa. Desta forma, o consultor técnico tem a possibilidade de observar as leituras individualizadas e reconhecer a posição do sensor no espaço da área produtiva. O volume de dados armazenados ao longo do tempo serve à exploração utilizando-se regras estatísticas, algoritmos de mineração de dados e a descoberta de relações entre as variáveis. Essa base de dados servirá como um repositório para a realização de trabalhos na área de descoberta de conhecimento e consequentemente ao refinamento dos processos produtivos.

Em uma solução de IoT, a conexão direta dos sensores em distâncias superiores a 300 metros é feita, geralmente, através de redes celulares nas suas diversas tecnologias. Contudo, essas redes apresentam um custo de conexão e consumo de bateria que limitam a viabilidade operacional. Nesse sentido, um trabalho que explore as *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), pode potencializar projetos destinados ao agronegócio e, principalmente, os que utilizam sensores de baixo custo e que necessitem de acesso a redes de dados com melhor cobertura, baixo investimento de conexão e melhor eficiência energética, ampliando dessa forma o leque de aplicações com sensores.

REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I., HUMMEL, J. W., MORGAN, M. T. and UPADHYAYA, S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and electronics in agriculture**, v. 44, n. 1. p. 71-91. 2004.
- ADETUNJI, K. E.; JOSEPH, M. K. Development of a cloud-based monitoring system using 4duino: applications in agriculture. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN BIG DATA, COMPUTING AND DATA COMMUNICATION SYSTEMS (ICABCD), 2018, Durban, South Africa. **Anais**, IEEE, [S.]. ago. 2018. p. 4849-4854.
- ANDRADE, A. P; VIANA, P. **Criação e geração de planos de teste de software**. IBM Developer Works. p. 1-8. 2012.
- APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011. p. 320.
- ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1-2, p. 25-31, jun. 1992.
- BANZI, M.; CUARTIELLES, D.; IGOE, T.; MARTINO, G.; MELLIS, D. Arduino as popular tool for IoT product development. **Interaction Design Institute of Ivrea**. Ivrea, n. 1, p. 1-8. 2018.
- BARRIOS, Edmundo. Soil biota, ecosystem services and land productivity. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 269-285. 2007.
- BENNIS I.; FOUCHA, H.; ZYTOUNE, O.; ABOUTAJDINE, D. Drip irrigation system using wireless sensor networks. *In*: FEDERATED CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION SYSTEMS, 2015, Lodz, Poland. **Proceedings**, ACM Press, New York, USA, 11 out. 2015. p. 1297-1302.
- BRADSHAW, R. H. W.; SYKES, M. T. **Ecosystem dynamics**: from the past to the future. Chichester: Wiley Blackwell, 2014. 336 p.
- CHAUDHARY, S.; MCGREGOR, A.; HOUSTON, D.; CHETTRI, N. The evolution of ecosystem services: a time series and discourse-centered analysis. **Environmental science & policy**, v. 54, p. 25-34. 2015.
- CHODOROW, K. **MongoDB: the definitive guide**. 1 ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013. 216 p.
- CHUNG, L.; NIXON, B.; YU, E.; MYLOPOULOS, J. **Non-functional requirements in software engineering**. 1 ed. New York: Springer, 2000. 441 p.
- COOPER, B. F.; SILBERSTEIN, A.; TAM, E.; RAMAKRISHNAN, R.; SEARS, R. Benchmarking cloud serving systems with YCSB. *In*: 1ST ACM SYMPOSIUM ON CLOUD COMPUTING - SOCC '10, 2010, Indianapolis, USA, **Proceedings**, ACM Press, New York, USA, 10 jun. 2010. p.143-154.

D'ANDREA, E. Big data. **Revista Informationweek**, Coluna Segurança, Insight 25 anos. p. 38. 2010.

DASH, S. K.; MOHAPATRA, S.; PATTNAIK, P. K. A survey on application of wireless sensor network using cloud computing. **International Journal of computer science and engineering technologies**. KEJA Publications, Chennai, Índia. v. 11. p. 50-55. 2010.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological economics**, [S./]. Elsevier BV. v. 41, n. 3, p. 393-408, jun. 2002.

DE MAURO, A.; GRECO, M.; GRIMALDI, M. A formal definition of big data based on its essential features. **Library review**. Emerald Publishing, Bingley, United Kingdom, v. 65, n. 3, p. 122-135, 4 abr. 2016.

DENNIS, A.; WIXOM, B. H.; ROTH, R.M. **Systems analysis and design**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2012. 592 p.

D'MELLO, B. J.; SATHEESH, M.; KROL, J. **Web development with MongoDB and Node**. 3 ed. Birmingham: Packt Publishing, 2017. 330 p.

DOI, Y.; SATO, Y.; ISHIYAMA, M.; OHBA, Y.; TERAMOTO, K. XML-less exi with code generation for integration of embedded devices in web based systems. *In*: 3RD IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE INTERNET OF THING, 2012, Besancon, France. **Anais**, [S./]. IEEE., out. 2012. p. 24-32.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture, ecosystems & environment**, Elsevier BV, [S./], v. 88, n. 2, p. 119-127. 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. p. 1-20. 1994.

FAO - Food and Agriculture Organization. Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome, Italy. p.150. 2014.

GEARY, D. **Core HTML5 canvas – graphics, animation and game development**. Crawfordsville: Prentice Hall, 2012. 752 p.

HARVEY, A. E.; JURGENSEN, M. F.; LARSEN, M. J.; GRAHAM, R. T. **Decaying organic materials and soil quality of the inland Northwest: a management opportunity**. Ogden: Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1987. p. 15.

HASHEM, I. A. T.; YAQOUB, I.; ANUAR, N. B.; MOKHTAR, S.; GANI, A.; ULLAH KHAN, S. The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. **Information Systems**, ISACA, Illinois, USA. v. 47, p. 98-115, jan. 2015.

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011. *In*: CONFERENCE THE WATER, ENERGY AND FOOD SECURITY NEXUS. 2011, Stockholm. **Anais**. Stockholm Environment Institute, [S.I.]. 2011. p. 1-52.

HUSSAIN, S.; SIDDIQUE, T.; SALEEM, M.; ARSHAD, M.; KHALID, A. Chapter 5 impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. **Advances in agronomy**, Elsevier, [S.I.], p. 159-200, 2009.

HWANG, J.; SHIN, C.; YOE, H. Study on an agricultural environment monitoring server system using wireless sensor networks. **Sensors**, MDPI AG, Beijing, China. v. 10, n. 12, p. 11189-11211, 8 dez. 2010.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of soil and water conservation**, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, USA. v. 55, p. 69-78, 2000.

IVANOV, S.; BHARGAVA, K.; DONNELLY, W. Precision Farming: Sensor Analytics. **Ieee Intelligent Systems**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), USA. v. 30, n. 4, p. 76-80. 2015.

JAVED, A. **building arduino projects for the internet of things: experiments with real-world applications**. 1 ed. Illinois: Apress, 2016. 285 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. Foreword by Amundson, R. Originally published: New York: McGraw-Hill, 1941. With new foreword. Includes bibliographical references and index. 1994. 271 p.

JHA, R. K.; KUMAR, S.; JOSHI, K.; PANDEY, R. Field monitoring using IoT in agriculture. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTING, INSTRUMENTATION AND CONTROL TECHNOLOGIES (ICICICT), 2017, Thalassery, India, **Anais**, IEEE, USA., jul. 2017. p. 1417-1420.

JOHNSON JR., C. G.; CLAUSNITZER, R. R.; MEHRINGER, P. J.; OLIVER, C. D. Biotic and abiotic processes of eastside ecosystems. **Eastside Forest Ecosystem Health Assessment**. General Technical Report, Portland, USA. v. 3, p. 66. 1994.

KABIRI, V.; RAIESI, F.; GHAZAVI, M. A. Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Elsevier BV. v. 232, p. 73-84, set. 2016.

KARAVIRTA, V.; SHAFFER, C.A. JSAV. *In*: 18TH ACM CONFERENCE ON INNOVATION AND TECHNOLOGY IN COMPUTER SCIENCE EDUCATION - ITICSE, 2013, Canterbury, UK. **Proceedings**, ACM Press. New York, USA, 03 jul. 2013. p. 159-164.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil science society of america journal**, Soil science society of america, Madison, USA. v. 61, n. 1, p. 22-36, 1997.

KOSCIANSKI, A.; SOARES, M. S. **Qualidade de software: aprenda as metodologias e técnicas mais modernas para o desenvolvimento de software**. 2 ed. São Paulo: Novatec Editora, 2007. 395 p.

Lee, J. S. Performance evaluation of IEEE 802.15.4 for low-rate wireless personal area networks. **Ieee Transactions On Consumer Electronics**, IEEE, [S.l.], v. 52, n. 3, p. 742-749, ago. 2006.

LETHBRIDGE, T. C.; LAGANIÈRE, R. **Object-Oriented Software Engineering: Practical Software Development using UML and Java**. 2 ed. London: McGraw-Hill Education, 2005. 561 p.

LI, L.; HU, X.; CHEN, K.; HE, K. The applications of wifi-based wireless sensor network in internet of things and smart grid. *In*: 6TH IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS, Beijing, China, **Anais**, IEEE, [S.l.], jun. 2011. p. 789-793.

LOBSEY, C. R.; VISCARRA ROSSEL R. A.; MCBRATNEY, A. B. Proximal Soil Nutrient Sensing Using Electrochemical Sensors. **Proximal soil sensing**, Springer Netherlands. p. 77-88, 2010.

LVOVA, L.; NADPOROZHSKAYA, M. Chemical sensors for soil analysis: principles and applications. **New Pesticides And Soil Sensors**, p. 637-678, 2017. Elsevier.

MACKAY, A. D.; WEDDERBURN, E. L.; LAMBERT, M. G. **Sustainable management of hill land**. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. v.55. p.171-176. 1993.

MAITINO NETO, R. **Engenharia de software**. 1 ed. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2016. 224 p.

MEKALA, M. S.; VISWANATHAN, P. A Survey: Smart agriculture IoT with cloud computing. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONIC DEVICES, CIRCUITS AND SYSTEMS (ICMDCS), 2017, Vellore, India, **Anais**. IEEE, [S.l.], ago. 2017. p. 1-8.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. Estatística Básica. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 557 p.

NAIK, K.; TRIPATHY, P. **Software Testing and Quality Assurance: Theory and Practice**. 1 ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2008. 648 p.

NAVARRO-HELLÍN, H.; TORRES-SÁNCHEZ, R.; SOTO-VALLES, F.; et al. A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management. **Agricultural Water Management**, Elsevier, [S.l.], v. 151, p.64-74, mar. 2015.

PATZEL, N.; STICHER, H; KARLEN, D.L. Soil Fertility - Phenomenon and Concept. **Journal Of Plant Nutrition And Soil Science**, Wiley. v. 163, n. 2, p.129-142, abr. 2000.

POLAT, H.; OYUCU, S.; BARISCI, N. A Study of Development of Standardised M2M Service Platform Using Restful Architecture. **Journal of Science**, Gazi University. Ankara, Turkey. p. 472-487. 2018.

PRESSMAN, R. S. **Software engineering: a practitioner's approach**. 7 ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2010. 930 p.

REHMANI, M. H.; PATHAN, A. S. K. **Emerging communication technologies based on wireless sensor networks**: current research and future applications. Boca Raton: CRC Press, 2016. 398 p.

RUSSOM, P. Big data analytics. **TDWI Best Practices Report**. Fourth Quarter. p. 1-35. 2011.

SALVI, S.; FRAMED, J. S. A.; SANJAY, H. A.; HARSHITA, T. K.; FARHANA, M.; JAIN, N.; SUHAS, M. V. Cloud based data analysis and monitoring of smart multi-level irrigation system using IoT. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON I-SMAC (IOT IN SOCIAL, MOBILE, ANALYTICS AND CLOUD) (I-SMAC), 2017, Palladam, India, **Anais**, IEEE, [S.l.], fev. 2017. p. 752-757.

SANTOSH, D.; RAMESH, C. P. Optimum utilization of natural resources for home garden using wireless sensor networks. **Journal Of Information And Optimization Sciences**, Informa UK Limited, v. 38, n. 6, p.1077-1085, 18 ago. 2017.

SCHJONNING, P.; ELMHOLT, S; CHRISTENSEN, B.T. **Managing soil quality: challenges in modern agriculture**. Wallingford: CABI Publishing, 2004. 368 p.

SCOTT, W. A. **The unified modeling language v1.1 and beyond**: the techniques of object-oriented modeling. Newmarket: AmbySoft Inc, 2000. 27 p.

SEVERANCE, C. Discovering JavaScript Object Notation. **Computer**, v. 45, n. 4, p.6-8, abr. 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2017. 304 p.

SINGH, S. K.; CHANDRAN, P. Soil genesis and classification. *In*: RATTAN, R. K.; KATYAL, J. C.; DWIVEDI, B. S. (Ed.) **Soil science-an introduction**. 1 ed. New Delhi: Indian Society of Soil Science. p. 57-96. 2015.

SOLIMAN, M.; ABIODUN, T.; HAMOUDA, T.; ZHOU, J.; LUNG, C.-H. Smart home: integrating internet of things with web services and cloud computing. *In*: IEEE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUD COMPUTING TECHNOLOGY AND SCIENCE, 2013, Bristol, United Kingdom, **Proceedings**, IEEE, [S.l.], dez. 2013, p. 317-320.

SPRINGETT, J. A. Bio-indicators of sustainability. *In: New Zealand Ecological Society Bio-Indicators Workshop*, Flock House, p.1-7. 1993.

SUNDMAEKER, H.; VERDOUW, C.; WOLFERT, S.; FREIRE, L. P. Internet of food and farm 2020. **Digital and Virtual Worlds**, p. 129-152. 2016.

TROEH, F. R.; HOBBS, J.; DONAHUE, R. L. **Soil and water conservation: productivity and environmental protection**. 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 672 p.

UNHELKAR, B. **Software Engineering with UML**. 1 ed. New York: Auerbach Publications, v.1, 2018, 426 p.

VALLADARES-NETO J.; SANTOS, C. B.; TORRES, E. M.; ESTRELA, C. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **ROBRAC - Revista Odontológica do Brasil-Central**. v. 26, n. 76, p. 1-6, 2017.

VASSEUR, J.; DUNKELS, A. **Interconnecting smart objects with IP - the next internet**. Burlington: Morgan Kaufmann, 2010. p. 415.

VEEN, J. S.; WAAIJ, B.; MEIJER, R. J. Sensor data storage performance: sql or nosql, physical or virtual. *In: IEEE FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUD COMPUTING, 2012, Honolulu, USA, **Proceedings**, IEEE, [S.l.], jun. 2012. p. 431-438.*

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa. v. 33, n. 4, p. 743-755. 2009.

VIEIRA, M. R.; FIGUEIREDO, J. M.; LIBERATTI, G.; VIEBRANTZ, A. F. M. Bancos de dados NoSQL: conceitos, ferramentas, linguagens e estudos de casos no contexto de big data. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BANCOS DE DADOS – SBBD, 2012, São Paulo, Brasil, **Anais**, [S.l., s.n.], n. 1, dez. 2012, p. 1-30.*

WANG, B. Coverage problems in sensor networks. **Acm Computing Surveys**, Association for Computing Machinery (ACM), v. 43, n. 4, p. 1-53, 2011.

WARK, T.; CORKE, P.; SIKKA, P.; KLINGBEIL, L.; GUO, Y.; CROSSMAN, C.; VALENCIA, P.; SWAIN, D.; BISHOP-HURLEY, G. Transforming agriculture through pervasive wireless sensor networks. **IEEE pervasive computing**, Institute of Electrical And Electronics Engineers (IEEE), [S.l.], v. 6, n. 2, p.50-57, abr. 2007.

WAZLAWICK, R. S. Uma reflexão sobre a pesquisa em ciência da computação à luz da classificação das ciências e do método científico. **Revista de sistemas de informação da FSMA**, n. 6, p. 3-10. 2010.

WHITE, R. E. **Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource**. 4 ed. Malden: Blackwell Publishing company. 2006. 363 p.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. Big data in smart farming – a review. **Agricultural Systems**, Elsevier BV. v. 153, p. 69-80, maio 2017.

ZAHNISER, R. A. Building Software in Groups. **American Programmer**, Association for Computing Machinery (ACM). v. 3, p. 7-8, 1990.

ZHUANG, Y.; CHEN, L. In-network Outlier Cleaning for Data Collection in Sensor Networks. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATA BASES, 2006, Seoul, Korea. **Anais**, ACM Press, New York, USA, 2006. p. 83-91.

ZIKMUND, W. G.; BABIN, B. J.; CARR, J. C.; GRIFFIN, M. **Business Research Methods**. 8 ed. Texas: South-western College Pub, 2009. 668 p.