LEONARDO BARRETO CAMPOS

Uma arquitetura baseada em Internet das Coisas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho

São Paulo

2017

LEONARDO BARRETO CAMPOS

Uma arquitetura baseada em Internet das Coisas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências

São Paulo

2017

LEONARDO BARRETO CAMPOS

Uma arquitetura baseada em Internet das Coisas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho

Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração: Engenharia de Computação

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca

São Paulo

2017

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catalogação-na-publicação

Campos, Leonardo
Uma arquitetura baseada em Internet das Coisas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho / L. Campos -- versão corr. -- São Paulo, 2017.
135 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Internet das Coisas 2.Rastreabilidade 3.Cadeia de Suprimentos 4.Arquitetura de Software 5.Agricultura de Precisão I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a todos os meus amigos, professores que contribuíram com minha formação e aos meus familiares, sobretudo, aos meus pais, Eliane dos Santos Barreto Campos e Geraldo de Jesus Campos, à minha esposa, Thais Silva Pereira Campos, aos meus filhos, Luís Eduardo César da Rocha Campos e João Lucas Pereira Campos, aos meus irmãos, Francisco Barreto de Almeida Neto e Guilherme Barreto Campos, ao meu sogro, à minha sogra, ao meu cunhado e cunhadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Ao meu orientador, Prof. Carlos Eduardo Cugnasca.

Aos professores e as professoras do Programa de Pós-graduação, em especial à Anna Reali, Anarosa Brandão, Jorge Rady, Selma Melnikoff, Jorge Becerra, André Hirakawa, Antonio Saraiva, José Sidnei, João José e Moacyr Martucci.

Aos técnicos administrativos e servidores da USP, em especial, Edson de Souza, Lourdes Keico, Suzano Bitencourt, Cláudia Marcelino, Maira, Daniel, Nilton, Patrícia, Léia, Rubens e Marcelo.

Aos orientados do Prof. Carlos Cugnasca, em especial à Bruno Kawano, Roberto Fray, Renata Marè, Osvaldo Sobrinho, Marcelo Freire, Guilherme Toschi, Max Rosan, Gustavo Mostaço, Ivairton Monteiro, Mara Dota, Maria Luísa Lopes, Sérgio Canovas, Luiz Lamardo, José Henrique e Vivian Cristina.

Aos demais colegas do Laboratório de Automação Agrícola (LAA), Wilian França, Allan Veiga, Raul Teruel, Juliana Saragiotto, Edson Murakami, Michel Bieleveld, Thiago Marques, Danilo Miguel, João Ferreira, Guilherme Castro, Élcio Abrahão, Cleverton Borba e Daniel Lins.

Aos colegas do IFBA, Paulo Marinho, Durval Souza, Cláudio Rodolfo, Pablo Matos, Mailson Couto, Liojes Carneiro, Crescêncio Neto, Bruno Silvério, Aline Costa, Camilo Carvalho, Fernando Cardeal, Djan Almeida, Luis Paulo, Alexandro Silva, Marcela Pereira, Amanda Ferraz, Igor Luiz, Viviane Lelis e Lauro Flores.

Amigos e amigas baianos, Pablo Moreira Gusmão, Daniel Campos, Magno Clery, Felizardo Rocha, Joseane da Silva, Joab, Monise, Darth, Ricardo, Luã, Allana, Seu Cecê, D. Eunice, Lucas, Schirley, Aete e Neinha.

Amigos e amigas catarinenses, Fabrício Tomasi, Andrelise Tomasi, Vanessa Silveira, Carine Ferreira, Lúcia Heineck, Lédio Brasil e Priscila Romanoski.

Ao CNPq pela bolsa e apoio ao projeto de pesquisa.

Aos bolsistas e alunos, Igo Romero, Ícaro Romero, Randler Ferraz, Larissa Rocha, Lucas Barros, Lucas Eliaquim, Henrique Ogawa e Giovanni Gardusi.

Aos funcionários da Vinícola Rio Sol, João Santos, Ricardo Henriques, Tânia Fazendeiro, Eldon, Valdemir.

E a você que está lendo esse trabalho e que será vetor de transferência do conhecimento que adquiri para produção desta tese.

Tudo é do pai, toda honra e toda glória
É dEle a vitória alcançada em minha vida.
(Frederico Cruz)

RESUMO

A próxima geração da Internet aponta para um cenário onde trilhões de pessoas e objetos estarão interconectados e acessíveis a qualquer momento e em qualquer lugar. Um dos pilares desta nova geração é o paradigma conhecido como Internet das Coisas, que tem atraído pesquisas em diferentes domínios, entre eles, saúde, indústria, logística, cidades inteligentes, casas inteligentes e agronegócio. No contexto do agronegócio, a Internet das Coisas tem avançado em aplicações de rastreabilidade das cadeias de suprimentos com produtos de alto valor agregado, por exemplo, a cadeia do vinho. Entretanto, o desenvolvimento de aplicações para rastreabilidade dessa cadeia não está suportado por uma arquitetura baseada em Internet das Coisas. Além disso, os sistemas de rastreabilidade das cadeias de suprimentos atuais não contemplam amplamente o paradigma da Internet das Coisas em sua premissa de interconexão entre os agentes da cadeia. Dessa forma, esta tese propõe uma arquitetura em camadas baseada no paradigma de Internet das Coisas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho. Para isso foi realizado o levantamento de requisitos, a identificação dos interessados no sistema (*stakeholders*) suas preocupações, identificação dos atributos de qualidade e a relevância de cada um deles. De posse de uma arquitetura candidata foi implementado um sistema em um caso real para refinamento dos componentes da arquitetura. A avaliação da arquitetura proposta em diferentes parâmetros mostra sua adequação tanto ao paradigma de Internet das Coisas quanto às necessidades dos *stakeholders* da cadeia de suprimentos do vinho. Dessa forma é possível afirmar que os sistemas implementados a partir da arquitetura proposta tendem a ser escaláveis, seguros, adaptativos, disponíveis e que suportam a interconexão entre os agentes da cadeia de suprimentos, desde a produção do vinho até o seu descarte.

Palavras-Chave: Internet das Coisas. Arquitetura de Sistemas. Cadeia de Suprimentos. Vinícola. Rastreabilidade. Agronegócio.

ABSTRACT

The next-generation Internet points to a scenario where trillions of objects and people are interconnected and accessible anytime and anywhere. One of the pillars of this new generation is the paradigm known as Internet of Things. This paradigm has attracted research in different domains, including, health, industry, logistics, smart cities, smart homes and agribusiness. In the context of agribusiness, the Internet of Things has advanced in applications of traceability of supply chains with products of high added value, for example, the wine chain. However, the development of applications for traceability in the wine supply chain is not supported by an architecture Internet of Things-based. In addition, current supply chain traceability systems do not broadly address the Internet of Things paradigm in its premise of interconnection among chain agents. Thus, this thesis proposes a layered architecture based on the Internet of Things paradigm for traceability of the wine supply chain. To do this, requirements were surveyed, the identification of the stakeholders in the system their concerns, identification of quality attributes and the relevance of each one of them. A candidate system was implemented in a real case for the refinement of architectural components. The evaluation of the architecture proposed in different parameters shows its adequacy both to the Internet paradigm of Things and to the needs of the stakeholders of the wine supply chain. In this way it is possible to affirm that the systems implemented from the proposed architecture are scalable, secure, adaptive, available and that support the interconnection between the agents of the supply chain, from its wine production to its disposal.

Keywords: Internet of Things. Systems Architecture. Supply chain. Winery. Traceability. Agribusiness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Exemplo de uma Cadeia Produtiva 3
Figura 02 – Roteiro sugerido para leitura da tese 7
Figura 03 – Princípio da comunicação onipresente entre dispositivos 9
Figura 04 – Gráficos das tecnologias emergentes segundo a GARTNER nos anos de 2014 e 2015 10
Figura 05 – As diferentes visões que resultam na Internet das Coisas 12
Figura 06 – Projeções de mercado de RFID em bilhões de dólares 14
Figura 07 – Funcionamento básico de sistemas que utilizam RFID 15
Figura 08 – Principais equipamentos da RSSF ēKo, Rádio Base, Gateway, Nós e Sensores 16
Figura 09 – Evolução dos sensores à rede de sensores semânticos na perspectiva IoT 17
Figura 10 – Aplicações e conectividade entre cinco domínios da IoT 18
Figura 11 – Dados da exportação de vinhos brasileiros em 2016 27
Figura 12 – Etapas do método da revisão sistemática 28
Figura 13 – Método de busca nas bases de dados, seleção e avaliação dos trabalhos 30
Figura 14 – Arquitetura da Rede EPCglobal 39
Figura 15 – Representação de alto nível da Arquitetura IoT-A ARM 40
Figura 16 – Pacotes de trabalho do projeto BRIDGE 42
Figura 17 – Visão geral do quadro SENSEI 43
Figura 18 – O engenho de busca Theseos numa pilha de software de uma empresa qualquer 44
Figura 19 – Processo de Engenharia de Domínio empregado na implementação do domínio 50
Figura 20 – Fontes de informação para definição do modelo de rastreabilidade 52
Figura 21 – Proposta de um modelo de rastreabilidade da cadeia do vinho para exportação 53

Figura 22 – Cadeia de suprimentos do vinho segundo o GT de rastreabilidade da GS1 54
Figura 23 – Visão geral do modelo de rastreabilidade para a cadeia do vinho 55
Figura 24 – Principais conceitos abordados na arquitetura 67
Figura 25 – Modelo do processo de negócio da cadeia de suprimentos do vinho 70
Figura 26 – *Stakeholders* do sistema de rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho 71
Figura 27 – Atributos de qualidade definidos pelo modelo de qualidade SQuaRE 74
Figura 28 – Atributos de qualidade da arquitetura e suas relevâncias 75
Figura 29 – Arquitetura em camadas para rastreabilidade do vinho baseada em IoT 77
Figura 30 – Camada Física da Arquitetura 78
Figura 31 – Cenário de captura de dados pelo hardware fonte de dados na camada física 81
Figura 32 – Camada de Interconexão da Arquitetura 82
Figura 33 – Camada de Dados da Arquitetura 84
Figura 34 – Camada de Serviços da Arquitetura 86
Figura 35 – Mapeamento dos requisitos por meio de um autômato adaptativo 90
Figura 36 – Topologia inicial do autômato adaptativo 91
Figura 37 – Geração de conhecimento por meio de coisas, dados e serviços 94
Figura 38 – Produção de uva em 2011 e exportação de vinho em 2012 no Brasil 97
Figura 39 – Visão geral do sistema de rastreabilidade no vinhedo usando RSSF ēKo 100
Figura 40 – Disposição dos nós no vinhedo após a instalação da RSSF . . 101
Figura 41 – Nó da RSSF instalado no talhão monitorado 101
Figura 42 – Instalação do sensor de umidade do solo 102
Figura 43 – Registros das leituras do sensor de umidade do solo 103

Figura 44 – Exemplo de um documento JSON contendo os dados do gateway 104
Figura 45 – Dashboard para apresentação dos dados associados a um nó 105
Figura 46 – Gráfico com os dados do sensor de umidade do solo 106
Figura 47 – Diagrama de distribuição dos componentes do AWS 107
Figura 48 – Fluxo de comunicação entre o ChatBot e a API da RSSF 108
Figura 49 – Comandos e informações recebidas no aplicativo Telegram . . 109
Figura 50 – Visão geral do sistema de rastreabilidade na indústria usando RFID 110
Figura 51 – Visão geral da comunicação entre o aplicativo, leitor e etiquetas RFID. 111
Figura 52 – Aplicativo para armazenamento, distribuição e localização de mercadoria no estoque da indústria 111
Figura 53 – Linha do tempo com as principais contribuições da tese e atuação do autor 118
Figura 54 – Forças que contribuíram com as limitações da pesquisa 120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Objetivos e atividades das etapas da revisão sistemática 29
Tabela 2 – Material usado nesta tese. 48
Tabela 3 – Relação de *stakeholders*, seus interesses e preocupações 73
Tabela 4 – Requisitos da arquitetura para preenchimento da sua relevância 89
Tabela 5 – Avaliação dos requisitos entre arquiteturas e middlewares baseados em IoT. 93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Avaliação dos atributos de qualidade 46
Quadro 2 – Dados de rastreabilidade da etapa produção do vinho 60
Quadro 3 – Dados de rastreabilidade da etapa armazenamento 62
Quadro 4 – Dados de rastreabilidade da etapa transporte 63
Quadro 5 – Dados de rastreabilidade da etapa distribuição 64
Quadro 6 – Dados de rastreabilidade da etapa varejista 64
Quadro 7 – Dados de rastreabilidade da etapa consumidor 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Autômato Adaptativo
AP – Agricultura de Precisão
API – Application Programming Interface
ARM – Architectural Reference Model
B2B – Business-to- Business
BAN – Body Area Network
BRIDGE – Building Radio frequency IDentification for the Global Enverionment
BSN – Body Sensor Network
CDs – Centrais de Distribuição
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CoO – Cost of Ownership
DoS – Denial of Service
EC2 – Elastic Compute Cloud
EPC – Eletronic Product Code
EPCIS – Serviços de Informação EPC
GIS – Geographical Information System
GPS – Global Positioning System
GT – Grupo de Trabalho
IoT – Internet of Things
IoT-A – Internet of Things Architecture
iPAGAT – Intelligent Precision Agriculture Gateway
JSON – JavaScript Object Notation
LAA – Laboratório de Automação Agrícola
M2M – Machine-to-Machine
MIT – Massachusetts Institute of Technology
NFC – Near Field Communication
ODM – Object Data Mapping
PnP – Plug and Play
REST – Representational State Transfer
RFID – Radio-Frequency Identification

RoI	–	Retorno sobre o Investimento
RSSF	–	Redes de Sensores Sem Fio
RTLS	–	Real-Time Location System
SCM	–	Supply Chain Management
SisBov	–	Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina
SLR	–	Systematic Literature Review
SPA	–	Single Page Application
SQuaRE	–	Requisitos e Avaliação de Qualidade de Produto de Software
TICs	–	Tecnologias da Informação e Comunicação
UFSCar	–	Universidade Federal de São Carlos
USP	–	Universidade de São Paulo
WBAN	–	Wireless Body Area Network
WHANs	–	Wireless Home Automation Networks

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Motivação 2
1.2 Problematização 4
1.3 Contexto histórico 5
1.4 Objetivos 6
1.4.1 Objetivo Geral 6
1.4.2 Objetivos Específicos 6
1.5 Organização da tese 6
2 INTERNET DAS COISAS: UMA VISÃO GERAL 8
2.1 Princípios e conceitos 11
2.2 Tecnologias base 13
2.2.1 Identificação por Radiofrequência (RFID) 13
2.2.2 Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) 15
2.3 Aplicações de IoT 18
2.3.1 Saúde 18
2.3.2 Logística 19
2.3.3 Cidades Inteligentes 19
2.3.4 Casas Inteligentes 19
2.3.5 Agricultura 20
2.4 Considerações finais do capítulo 20
3 APLICAÇÕES DE IoT NO AGRONEGÓCIO 21
3.1 Agricultura de precisão 21
3.2 Identificação e rastreamento de animais 22
3.3 Cadeia frigorífica 23
3.4 Logística 24
3.5 Identificação e localização de produtos 25
3.6 Considerações finais do capítulo 26
4 APLICAÇÕES DE IoT NA VITICULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA 27
4.1 Procedimentos metodológicos 28
4.2 Resultados 30
4.2.1 Trabalhos que utilizam predominantemente RSSF 31
4.2.2 Trabalhos que utilizam predominantemente RFID 33
4.3 Considerações finais do capítulo 36

5 ARQUITETURAS DE INTERNET DAS COISAS: UMA REVISÃO EXPLORATÓRIA 38
5.1 Procedimentos metodológicos 38
5.2 Resultados 39
5.2.1 Arquitetura do Framework EPCglobal 39
5.2.2 IoT-A ARM 40
5.2.3 BRIDGE 41
5.2.4 SENSEI 42
5.2.5 Theseos 43
5.3 Considerações finais do capítulo 44
6 MATERIAL E MÉTODOS 48
6.1 Material 48
6.2 Métodos 49
7 MODELO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DO VINHO 52
7.1 Fontes de Informação 53
7.2 Modelo para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho 55
7.2.1 Produção do Vinho 56
7.2.2 Armazenamento 62
7.2.3 Transporte 62
7.2.4 Distribuição 63
7.2.5 Varejista 64
7.2.6 Consumidor 65
7.3 Considerações finais do capítulo 65
8 UMA ARQUITETURA PARA RASTREABILIDADE DO VINHO BASEADA EM IoT 66
8.1 Conceitos 66
8.2 Os Fundamentos 68
8.3 Definição do domínio 70
8.3.1 Escopo e contexto 70
8.3.2 *Stakeholders* 71
8.3.3 Interesses e Preocupações 72
8.3.4 Atributos de Qualidade 74
8.4 Definição da arquitetura 77
8.4.1 Camada Física 78
8.4.2 Camada de Interconexão 82
8.4.3 Camada de Dados 84

8.4.4 Camada de Serviços 85
8.4.5 Demais componentes 87
8.4.5.1 Segurança 87
8.4.5.2 Qualidade de Dados 87
8.4.5.3 Adpatatividade 88
8.5 Avaliação da Arquitetura 92
8.6 Considerações finais do capítulo 94
9 PROVA DE CONCEITO: VINÍCOLA RIO SOL 96
9.1 Apresentação 96
9.2 Definição do domínio 97
9.3 Cenários 99
9.4 Resultados 99
9.4.1 Cenário 1: Monitoramento de variáveis ambientais do vinhedo 99
9.4.2 Cenário 2: Troca de mensagens instantâneas com o vinhedo 107
9.4.3 Cenário 3: Armazenamento de paletes na indústria 109
9.5 Considerações finais do capítulo 112
10 CONCLUSÃO 113
10.1 Contribuições 113
10.2 Produção Científica 115
10.2.1 Artigo publicado em periódico 115
10.2.2 Artigos publicados em conferências 115
10.2.3 Resumos publicados em conferências 116
10.2.4 Colaborações em Projeto de Pesquisa 117
10.2.5 Orientações e co-orientações 117
10.3 Trabalhos Futuros 119
10.3.1 Perspectivas de continuidade 119
10.3.2 Doutorado 119
10.3.3 Mestrado 119
10.3.4 Iniciação Científica ou Trabalho de Conclusão de Curso 119
10.4 Limitações 120
10.5 Considerações Finais 120
REFERÊNCIAS 121

1 INTRODUÇÃO

A computação avança para além da disponibilidade onipresente da infraestrutura computacional. Ela caminha para alcançar a plenitude da computação ubíqua vislumbrada por Weiser (1991). Uma computação indistinguível das coisas, disponível em qualquer lugar, a todo o momento e pulverizada nas coisas. Um dos paradigmas que sustentam esta perspectiva é conhecido como Internet das Coisas, (*Internet of Things* – IoT) (BORGIA, 2014; GUBBI et al., 2013; PAPADIMITRIOU, 2009; CACERES e FRIDAY, 2012).

A ideia básica da IoT é a presença generalizada de coisas ou objetos em torno das pessoas que, por meio de um esquema único de endereçamento, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para alcançar objetivos comuns (GIUSTO, 2010). Segundo Harrop et al. (2016), em 2027, dezenas de bilhões de objetos inteligentes serão habilitados para internet com endereços IP (*Internet Protocol*). Considerando não apenas as comunicações máquina a máquina (*Machine-to-Machine* – M2M[1]), este número potencial de objetos conectados à Internet cresce para a ordem de 100 trilhões, no mesmo período (SUNDMAEKER et al., 2010).

Esse crescimento exponencial de objetos conectados à Internet que está em curso deve-se principalmente às diferentes áreas de aplicações possíveis da IoT, entre elas, indústria, logística, varejo, transporte, identificação humana, saúde, cidades inteligentes, casas inteligentes, etc (CAMPOS E CUGNASCA, 2014a; ILIE-ZUDOR et al., 2011). Uma área que tem atraído esforços consideráveis de pesquisa é a agroindustrial (ZHAO et al., 2010). Nela, as aplicações de IoT buscam elevar a precisão na obtenção de dados, segurança alimentar, confiabilidade e agilidade aos processos de produção, distribuição e comercialização de seus produtos (ZHANG, 2013).

O conhecimento das ações e condições que transformaram uma matéria-prima em produto final, por exemplo, está entre as exigências que mais crescem entre consumidores e receptores de mercadorias na área agroindustrial, especialmente

[1] Machine-to-Machine (M2M) (em português máquina a máquina) refere-se a tecnologias que permitem máquinas tanto com fio quanto sem fio se comunicarem com outras máquinas que possuam a mesma habilidade de forma autônoma.

para produtos exportados e serviços de segurança alimentar (MACHADO e NANTES, 2007; YAN et al., 2011). Para alcançar esse objetivo é fundamental disponibilizar informações associadas aos produtos desde a sua fabricação até o seu descarte, envolvendo os processos de agentes da cadeia de suprimentos em um processo conhecido como rastreabilidade.

Segundo padrões internacionais da ISO (*International Organization for Standardization*) (1994), rastreabilidade é o processo de descrever a história, a aplicação, os eventos e a localização de um produto de uma determinada organização. Entre os principais domínios agrícolas de aplicação da rastreabilidade está a cadeia de suprimentos do vinho, sobretudo, por conta do alto valor agregado da mercadoria e da possibilidade de elevar a qualidade do vinho produzido.

Entretanto, diferentes visões do paradigma IoT estão surgindo na comunidade científica, principalmente, devido à ampla abrangência de aplicação desse novo paradigma, como mostram Atzori, Iera e Morabito (2010). Nesse sentido, encontram-se também as propostas atuais de arquiteturas de IoT para rastreabilidade que focam suas abordagens em apenas uma visão do paradigma (CAMPOS e CUGNASCA, 2014b; CAMPOS e CUGNASCA, 2014).

Dessa forma, diante da ausência de uma arquitetura para rastreabilidade no contexto agrícola baseada em todas as visões do paradigma da IoT, é que repousa o objeto de estudo desta tese, além da ausência, na literatura, de uma arquitetura para rastreabilidade do vinho baseada em IoT.

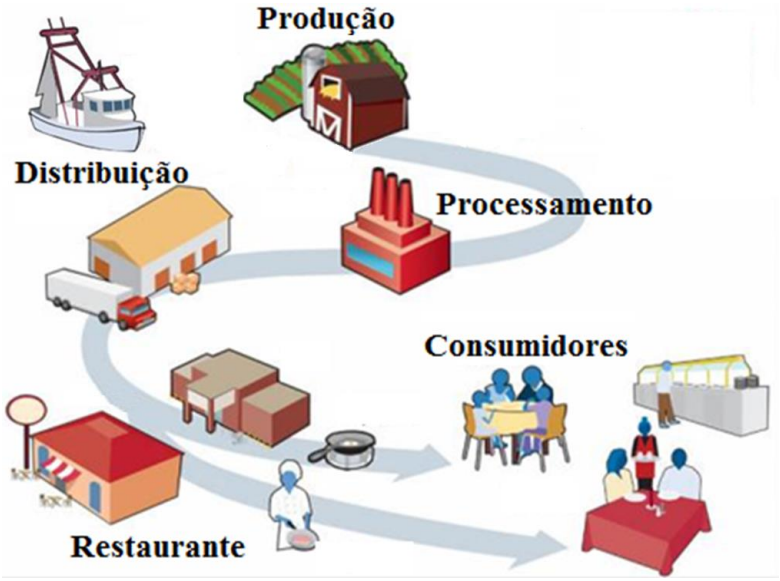
1.1 Motivação

Acontecimentos ocorridos nas últimas três décadas envolvendo contaminação de produtos alimentícios, entre eles o caso da Encefalopatia Espongiforme Bovina ocorrido na União Europeia em 1992 (LATOUCHE et al., 1998) e contaminação de alimentos para animais na Bélgica em 1999 (BERNARD et al., 2002), contribuíram para que o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia regulamentassem a produção e importação de quaisquer produtos alimentícios ou substâncias que venham ou possam vir a serem incorporadas em seus produtos alimentícios (COMMISSION, 2002).

Alguns incidentes na área de segurança alimentar também são relatados na literatura envolvendo o vinho. De acordo com a *Food Standards Agency* (2004), em 2004 na Inglaterra, aproximadamente 16 mil garrafas do vinho Turning Leaf – Sauvignon Blanc foram retiradas do mercado com suspeita da existência de partículas de vidro no interior de 180 garrafas. Um ano antes, também na Inglaterra, a rede de supermercados Lidl já havia recolhido o vinho australiano Creston Bay motivada pelo alto teor de dióxido de enxofre, o que poderia provocar ataques de asma em pacientes sensíveis, durante a abertura da garrafa (FOOD STANDARDS AGENCY, 2003).

Recentemente novos casos, como de carne equina sendo utilizada em carne processada (STAFF, 2013) e a adulteração do leite com ureia no Brasil (003/2012-Dda/Sfa-Rs, 2013), colocaram em evidência novamente a necessidade de disponibilizar informações relacionadas às diferentes etapas das cadeias de suprimentos no setor agrícola, conforme Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de uma Cadeia Produtiva



Fonte: Traduzido de (PETERS et al., 2014)

Por meio da rastreabilidade é possível saber, entre outras informações referentes a um produto, quais foram os lotes de cada matéria-prima utilizada na sua composição, sua data de validade, os seus laudos de análises, o fornecedor, pesagem de cada ingrediente que compõe esse produto, tempo de processamento, condições em que foram feitos, responsável pela sua produção, fabricante da embalagem, quem vendeu o produto, qual foi a transportadora, quais eram as condições do veículo e

ambiente de transporte, para quem foi vendida a unidade em questão, entre outras informações de interesse para um determinado agente da cadeia de suprimentos (BRASIL, 2010). Dessa forma, em casos nos quais o recolhimento de determinados lotes de um produto é necessário, a rastreabilidade pode minimizar as perdas ao identificar os lotes eventualmente danificados ou contaminados.

1.2 Problematização

A qualidade do processo de desenvolvimento de sistemas de software é assegurada por uma boa especificação da sua arquitetura. Ao longo dos últimos vinte anos, a arquitetura de software finalmente emergiu como uma área importante e com o nível adequado para lidar com a qualidade do software (DOBRICA e NIEMELA, 2002; KRUCHTEN et al., 2006). É difícil medir a qualidade do sistema final com base na qualidade de sua concepção (BOSCH e MOLIN, 1999). Por outro lado, se o passo de desenvolvimento seguir rigorosamente o desenho da arquitetura, é possível prever a qualidade de um sistema antes da sua construção (KAZMAN et al., 1994; CLEMENTS et al., 2001).

No contexto das arquiteturas de IoT, projetos importantes foram apresentados à comunidade científica, como EPCglobal (EPCGLOBAL, 2010), IoT-A ARM (WALEWSKI, 2011), BRIDGE (BRIDGE, 2009), SENSEI (PRESSER et al., 2009) e Theseos (CHEUNG et al., 2007), porém, poucos atributos de qualidade são considerados em suas especificações (CAMPOS e CUGNASCA, 2014c). Neste momento de popularização de um novo paradigma é comum existirem várias abordagens e definições para IoT levando assim, a uma ampla variedade de aplicações. Em outras palavras, as arquiteturas de IoT dependem diretamente dos serviços que serão prestados aos usuários e as exigências e necessidades dos interessados (*stakeholders*) nestes serviços. Portanto, o objetivo desta tese está em conformidade com a abordagem arquitetural de IoT apresentada em Uckelmann, Harrison e Michahelles (2011), que prevê:

> "A Internet das Coisas tem que integrar os *stakeholders* que serão afetados por ela, por exemplo: cidadãos, pequenas e médias empresas, instituições governamentais e políticas. Aplicativos que reconhecem e melhoram a qualidade de vida das pessoas, empresas, sociedade e do meio ambiente" (UCKELMANN, HARRISON e MICHAHELLES, 2011).

Esta abordagem ressalta a importância de pensar na próxima geração da Internet de maneira holística, na qual os usuários devem estar habilitados a acessar informações sobre as coisas, instantaneamente ao seu alcance, por exemplo: onde um item está disponível? Onde ele foi produzido? Quem o possuiu anteriormente? O que foi usado? As respostas a essas questões devem respeitar sempre regras de privacidade pessoal e empresarial.

1.3 Contexto histórico

No final de 2005, quando da realização do Seminário de Rastreabilidade da Informação em Cadeias Produtivas do Agronegócio, o autor desta tese, ainda mestrando na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), conheceu pessoalmente o pesquisador Osvaldo Gogliano Sobrinho e seu orientador à época, o Professor Carlos Eduardo Cugnasca. Ambos atuavam em áreas de pesquisas comuns, tais como: computação pervasiva e rastreabilidade. Iniciou-se ali o amadurecimento de um projeto de pesquisa que contemplasse as áreas de atuação comuns. Anos mais tarde, no início de 2013, o autor desta tese ingressou formalmente no programa de doutorado do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Automação Agrícola (LAA)[2] que possui uma equipe multidisciplinar e cujo objetivo é aplicar Tecnologias da Informação no Agronegócio.

Paralelamente a uma ampla revisão da literatura nas áreas do agronegócio, computação pervasiva e rastreabilidade nas cadeias de suprimentos, a hipótese desse estudo foi sendo refinada e o domínio de aplicação delimitado. Nesse sentido, devido ao *know-how* de trabalhos anteriores do pesquisador Osvaldo Gogliano Sobrinho e demais membros do LAA, o domínio de aplicação escolhido para esta tese foi a cadeia de suprimentos do vinho. Enquanto que a hipótese do trabalho é a seguinte: O desenvolvimento de aplicações para rastreabilidade na cadeia produtiva do vinho não está suportado por uma arquitetura baseada em IoT.

De posse da hipótese e de grande acervo bibliográfico, um projeto de pesquisa intimamente ligado aos objetivos desta tese foi submetido ao Conselho Nacional de

[2] http://www.pcs.usp.br/~laa/

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Sua aprovação foi determinante para a aquisição de materiais e aplicação do método detalhados no Capítulo 6 para a experimentação da arquitetura em uma prova de conceito.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

- Propor uma arquitetura baseada em Internet das Coisas que oriente o desenvolvimento de aplicações para rastreabilidade no domínio da cadeia de suprimentos do vinho.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Definir um modelo de rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho;
- Contemplar amplamente características e atributos de qualidade na Arquitetura;
- Prover mecanismos para obtenção adaptativa da arquitetura;

1.5 Organização da tese

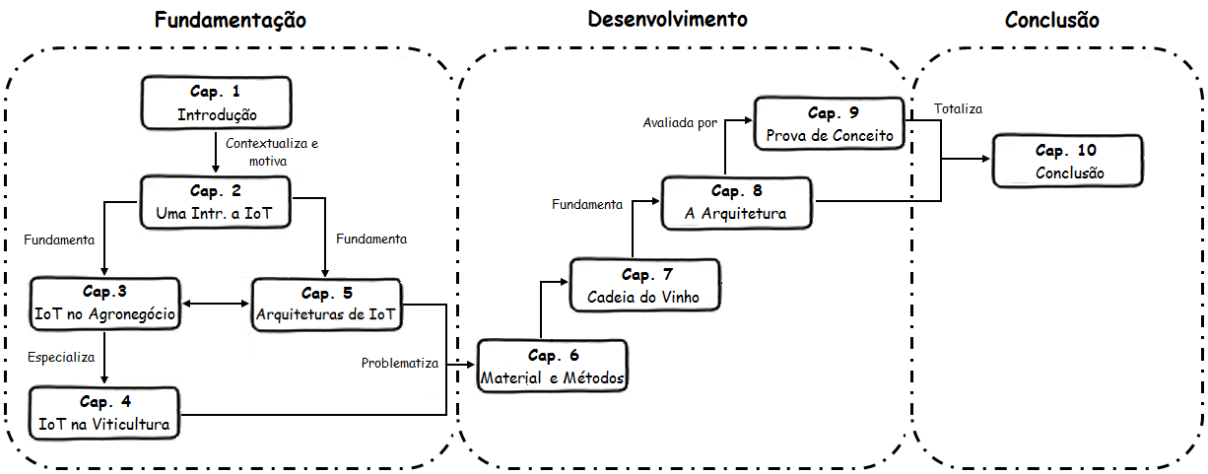
Esta tese está estrutura da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** investiga os princípios e conceitos do paradigma IoT, discute as tecnologias que estão viabilizando a expansão do paradigma.
- **Capítulo 3:** apresenta áreas de aplicação da IoT no agronegócio.
- **Capítulo 4:** apresenta uma revisão sistemática das aplicações mais comuns de IoT na viticultura.
- **Capítulo 5:** examina cinco arquiteturas de IoT representando o estado da arte na área e avalia os atributos de qualidade presentes nestas arquiteturas.
- **Capítulo 6:** sumariza o material e o método utilizados para alcançar o objetivo geral do trabalho.
- **Capítulo 7:** traz um modelo da cadeia de suprimentos do vinho para aplicações de rastreabilidade, seus atores e os dados esperados para armazenamento.
- **Capítulo 8:** apresenta a arquitetura para rastreabilidade do vinho, suas camadas e suas principais características.

- **Capítulo 9:** apresenta a aplicação da arquitetura em um caso experimental que serve como prova de conceito.
- **Capítulo 10:** sumariza as contribuições acadêmicas, os trabalhos relacionados, as limitações e as considerações finais do trabalho.

O autor sugere um roteiro para leitura da tese conforme Figura 2, haja vista o número razoavelmente alto de capítulos. A quantidade incomum de capítulos deve-se pelo fato de a tese unir domínios distintos: IoT, arquiteturas de sistemas, agronegócio e cadeia de suprimentos do vinho.

Figura 2 – Roteiro sugerido para leitura da tese



Fonte: Autor

2 INTERNET DAS COISAS: UMA VISÃO GERAL

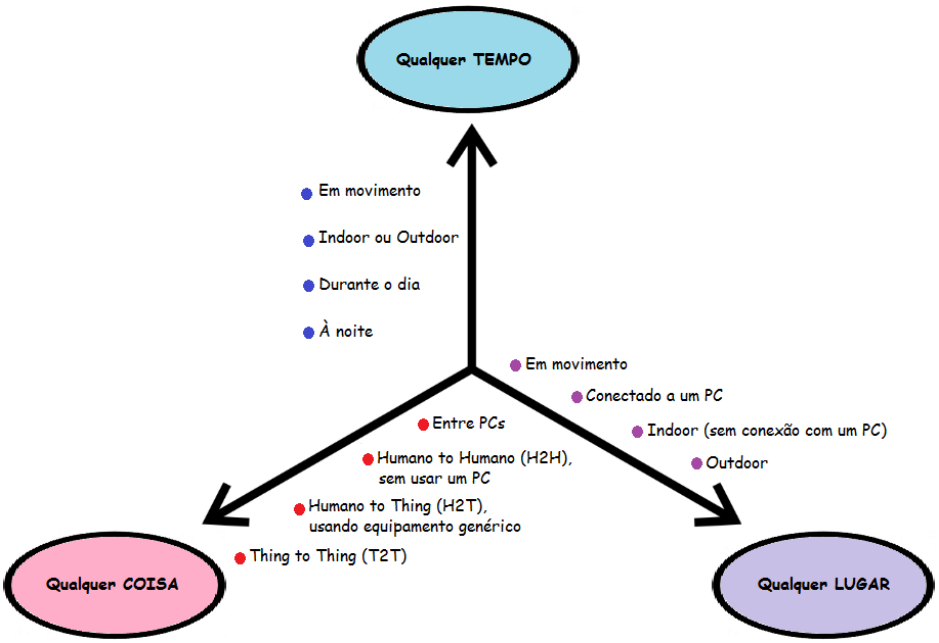
A IoT é um novo paradigma que começou a ser desenvolvido nos laboratórios do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) por volta de 1999 (ASHTON, 2009). Rapidamente a IoT foi apontada por vários estudos, tais como os de Smith (2012), Vermesan et al., (2011) e Intelligence (2008), como um dos principais pilares da Internet do Futuro. É possível perceber, a partir desse estudo, que as formas de comunicação estão se expandindo além de humano-humano para humano-coisas e coisas-coisas (EMMERSON, 2010).

A mudança de uma Internet pautada na conexão de pessoas para um paradigma no qual objetos podem se comunicar entre si e/ou com os seres humanos com a finalidade de oferecer um dado serviço, engloba a necessidade de repensar algumas abordagens convencionais usadas em redes, computação e serviços de gerenciamento. Do ponto de vista de um usuário particular, os efeitos mais próximos estão nos contextos doméstico (*smart house*), urbano (*smart city*) e de saúde (*e-health)*, por exemplo. Na perspectiva dos usuários de negócios, as aplicações deste paradigma alcançarão rapidamente áreas como: automação industrial, logística, transporte inteligente de pessoas e mercadorias, automóveis, eletrônicos vestíveis, etc (BAHGA e MADISETTI, 2014).

Por outro lado, a mudança mais sensível está no ponto de vista conceitual, ou seja, a IoT baseia-se em três pilares relacionados a capacidade de cada objeto inteligente em (i) ser identificável, (ii) comunicar-se e (iii) interagir – seja entre si, construindo redes interconectadas de objetos, com usuários finais ou outras entidades na rede. O princípio da IoT é permitir a comunicação onipresente entre qualquer objeto ou dispositivo (coisa), ou seja, a pulverização de dispositivos com capacidade de comunicarem-se entre si, sobretudo remotamente, a qualquer tempo e em qualquer lugar, conforme Figura 3.

Para Greenfield (2006) está próximo o dia no qual todos os objetos serão capazes de capturar, receber, transmitir, armazenar, processar e mostrar informação e, se necessário, agir em função da informação que detêm e sua capacidade de processá-la.

Figura 3 – Princípio da comunicação onipresente entre dispositivos



Fonte: Adaptado de (STRATEGY E UNIT, 2005).

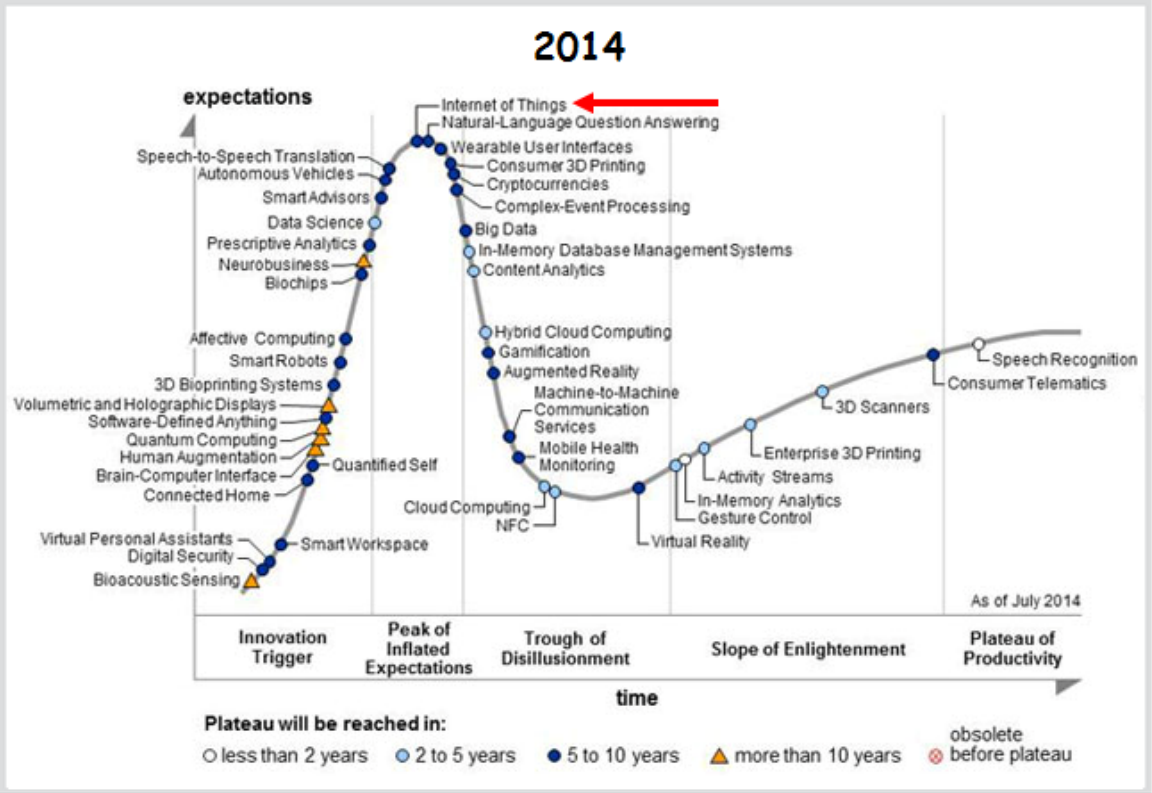
Todas essas perspectivas levaram o paradigma IoT para ao pico de expectativas de tecnologias emergentes por dois anos consecutivos, como mostram os gráficos publicados em 2014 e 2015 pela Gartner Inc[3] (GARTNER's, 2014; GARTNER's, 2015), conforme Figura 4.

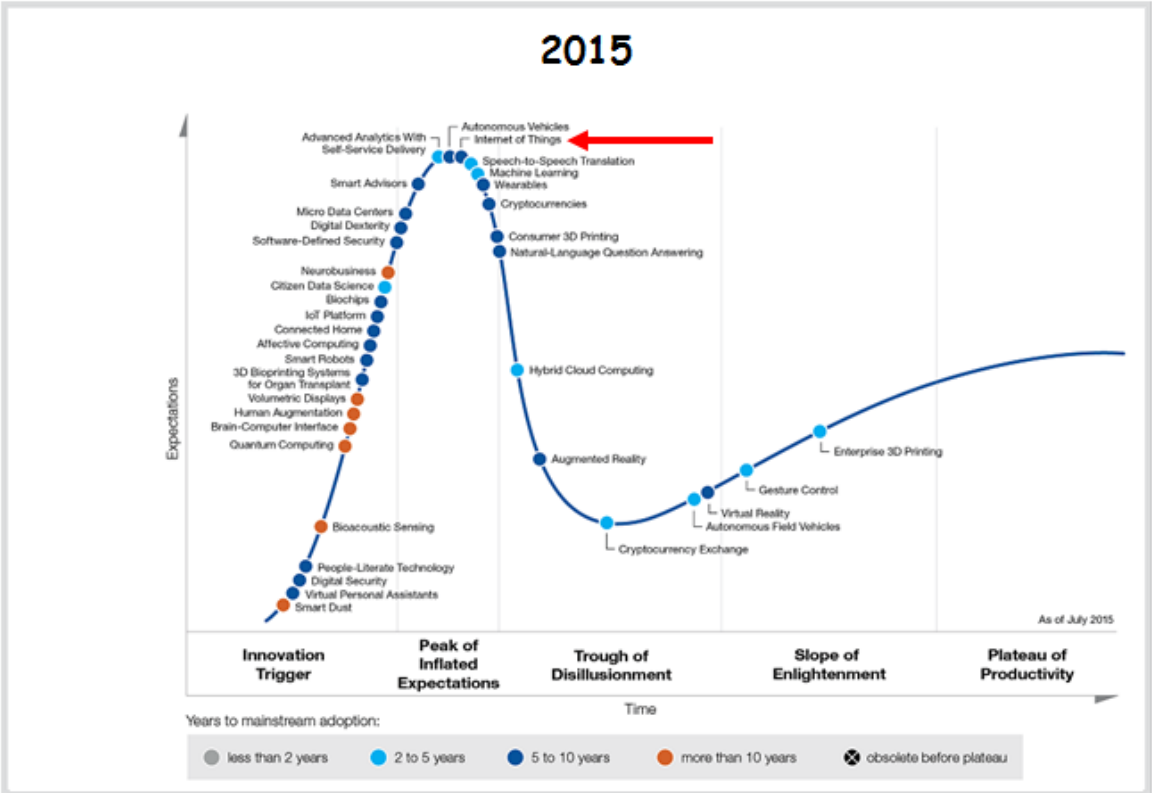
Nesse mesmo direcionamento estão as empresas que têm percebido os benefícios comerciais de aplicações baseadas em IoT. Recentemente a IDTechEx[4] divulgou que em 2015, o mercado total de RFID movimentou 10,1 bilhões de dólares, ante US$ 9,5 bilhões em 2014 e US$ 8,8 bilhões em 2013 (DAS e HARROP, 2014).

Para o público em geral a IoT tem se tornado um termo cada vez mais familiar. Um exemplo disso ocorreu no Brasil com a publicação de uma reportagem especial da revista Veja no mês de janeiro de 2014 (VILICIC, 2014). A reportagem mostrou alguns objetos inteligentes como, cafeteiras, termostatos, despertador, automóveis e até mesmo coleiras para animais domésticos.

[3] A Gartner, Inc é uma empresa de consultoria e pesquisa em tecnologia da informação, fundada em 1979 com sede em Stamford, Estados Unidos. http://www.gartner.com/
[4] A IDTechEx é uma empresa que fornece pesquisa independente de mercado e *business* intelligence, fundada em 1999 com sede em Cambridge, Reino Unido. http://www.idtechex.com/

Figura 4 – Gráficos das tecnologias emergentes segundo a GARTNER nos anos de 2014 e 2015





Fonte: Adaptado de (GARTNER's, 2014; GARTNER's, 2015)

Em suma, serão apresentados nas seções subsequentes os princípios e definições do paradigma IoT, listadas suas tecnologias base com destaque para a RFID e as RSSF e, por fim, sumarizadas as aplicações mais comuns de IoT, com destaque para o agronegócio.

2.1 Princípios e conceitos

Quando Kevin Ashton utilizou o termo "*Internet of Things*" pela primeira vez, em 1999, jamais imaginou as muitas interpretações e variações de conceito que teria posteriormente (ASHTON, 2009). Curiosamente, passados dezoito anos, continua sendo difícil chegar a uma definição precisa do paradigma Internet das Coisas. Entretanto, esta tese adota duas definições, a primeira dada pelo ITU-T[5], que diz:

> "A Internet das Coisas pode ser vista como uma infraestrutura global para uma sociedade da informação, permitindo serviços avançados por meio da interligação de coisas (físicas e virtuais), com base em Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) interoperáveis existentes e em evolução. Por meio da exploração das capacidades de identificação, captura de dados, processamento e comunicação, a Internet das Coisas faz pleno uso de coisas para oferecer serviços a todos os tipos de aplicações, mantendo a privacidade necessária" (COMMISSION, 2008).

Além de outra definição, essa apresentada pelo IERC (*European Research Cluster on the Internet of Things)*[6]. A definição do IERC afirma que a Internet das Coisas é:

> "A infraestrutura de rede global dinâmica, com capacidades de autoconfiguração baseada em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis onde "coisas" físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes, e são perfeitamente integradas por meio da rede de informação" (VERMESAN et al., 2011).

Apesar de as definições apresentarem semelhanças, ambas refletem as diferentes visões do paradigma IoT apresentadas por Atzori, Iera e Morabito (2010). Para esses autores a IoT é a união de três grandes visões: centrada nas coisas,

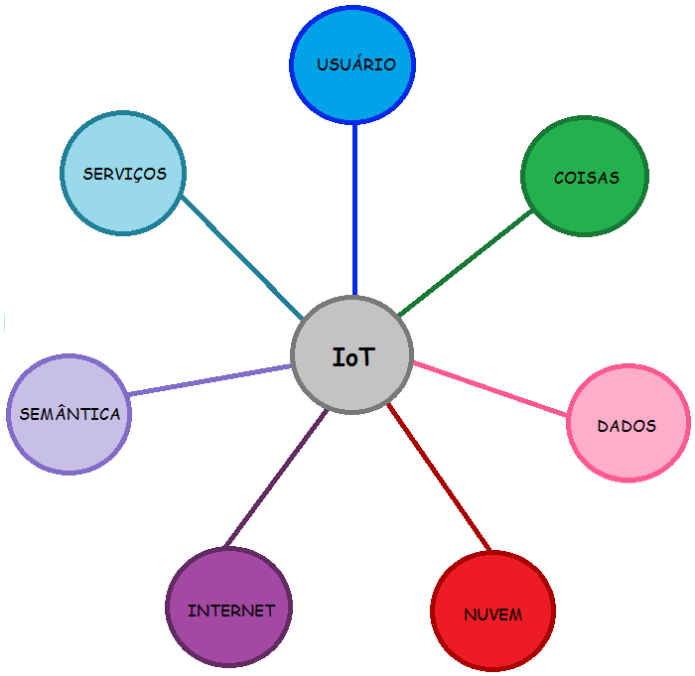
---

[5] O Setor de Normatização das Telecomunicações é uma área da União Internacional de Telecomunicações (ITU) que reune especialistas de todo o mundo para desenvolver padrões internacionais conhecidos como Recomendações da ITU-T. Estes padrões são essenciais para a interoperabilidade das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para a troca de mensagens, dados de voz, vídeos ou padrões que permitem comunicações globais.

[6] O Cluster Europeu de Pesquisas sobre Internet das Coisas (IERC) está reunindo projetos financiados pela União Europeia com o objetivo de definir uma visão comum da IoT e desafios de pesquisa e desenvolvimento a nível europeu na visão de desenvolvimento global.

centrada na Internet ou centrada na semântica. Além das visões apresentadas por tais autores é possível identificar outras quatro visões na literatura (centrada no usuário, centrada nos dados, centrada na nuvem e centrada nos serviços), conforme Figura 5 (CAMPOS e CUGNASCA, 2014).

Figura 5 – As diferentes visões que resultam na Internet das Coisas



Fonte: Autor

As classificações e as principais características destas sete visões de IoT, são:

a) **Visão centrada nas coisas:** visão amplamente utilizada atualmente e que envolve o rastreamento de objetos por meio de tecnologias como RFID, Redes de Sensores sem Fio (RSSF), *Near Field Communication* (NFC), etc.
b) **Visão centrada nos dados:** visão focada na coleção e processamento de dados em tempo real, bem como extrair informações úteis a partir de grandes volumes de dados (*Big Data*);
c) **Visão centrada na Internet:** corresponde à construção de protocolos IP para permitir que objetos inteligentes se conectem à Internet;
d) **Visão centrada na nuvem:** pode ser vista como a união entre a visão centrada nas coisas e a visão centrada na Internet. O objetivo final é ter objetos inteligentes *Plug and Play* (PnP) que podem ser implantados em qualquer

ambiente com um *backbone* interoperável permitindo interação com outros objetos inteligentes a seu redor;

e) **Visão centrada nos serviços:** conhecimentos e serviços são definidos e formulados utilizando modelos de ontologias tornando as redes de grande escala mais cognitivas e viáveis

f) **Visão centrada na semântica:** aborda as questões de gerenciamento de dados que surgem no contexto das grandes quantidades de informação que se troca por objetos inteligentes, e os recursos que estão disponíveis por meio da interface *Web*;

g) **Visão centrada no usuário:** o usuário é colocado no centro e permite que ele use o conhecimento e a infraestrutura para desenvolver novas aplicações.

2.2 Tecnologias base

Muitas são as tecnologias de base da IoT, entre elas destacam-se a RFID, RSSF e NFC, as comunicações 2G, 3G, 4G e 5G, Wi-Fi, entre outras. Para Vermesan et al*.,* (2010) essas tecnologias são tão abrangentes que podem ser categorizadas em dez grupos, entre eles: comunicação, integração, confiabilidade, semântica, interoperabilidade, padrões, etc.

Entretanto, a RFID e a RSSF merecem um destaque por estarem mais intrinsicamente associadas ao paradigma IoT e por serem as tecnologias utilizadas na etapa experimental desta tese. Dessa forma, as subseções a seguir discutirão suas principais caraterísticas.

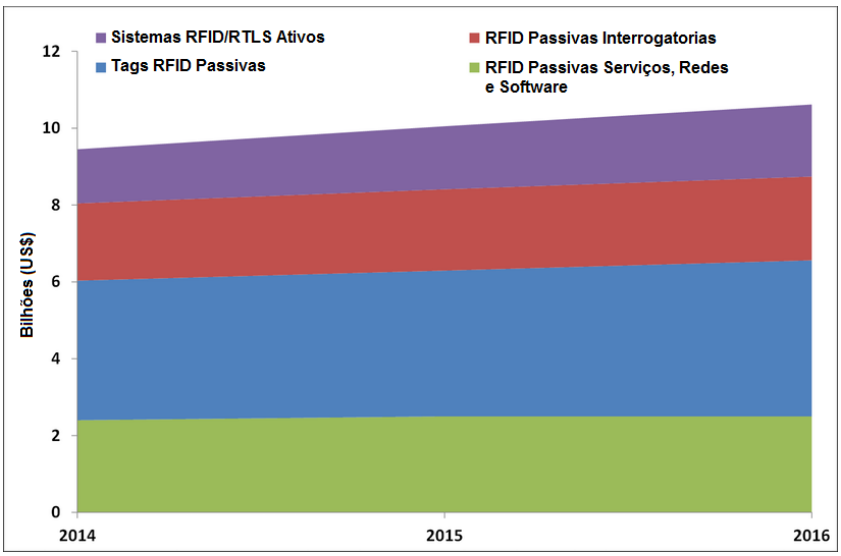
2.2.1 Identificação por Radiofrequência (RFID)

Em diversos cenários de aplicação da IoT, a principal tecnologia que está tornando esta revolução possível é conhecida como Identificação por Radiofrequência, ou simplesmente RFID. A tecnologia RFID pode ser definida como “uma pequena etiqueta (*tag*) contendo uma pastilha de circuito integrado e uma antena capaz de responder, via ondas de rádio transmitidas ao leitor RFID, informações do processo e armazenamento” (WU et al., 2006).

O interesse das empresas no RFID vem crescendo já há alguns anos (NAMBIAR, 2009). Um indicativo é o grande número de aplicações comerciais de

grande escala na cadeia de suprimentos, rastreamento, governamental, saúde, varejo, entre outras (ILIE-ZUDOR et al., 2011; ISASI et al., 2010; ZHENG et al., 2011; NGAI et al., 2009; ZHU, MUKHOPADHYAY E KURATA, 2012). De acordo com dados da IDTechEx, o mercado total com RFID alcançará US$ 13,2 bilhões em 2020, incluindo gastos com etiquetas, leitores, softwares, serviços etc., superando em mais de 10% os gastos dos últimos anos, conforme Figura 6.

Figura 6 – Projeções de mercado de RFID em bilhões de dólares

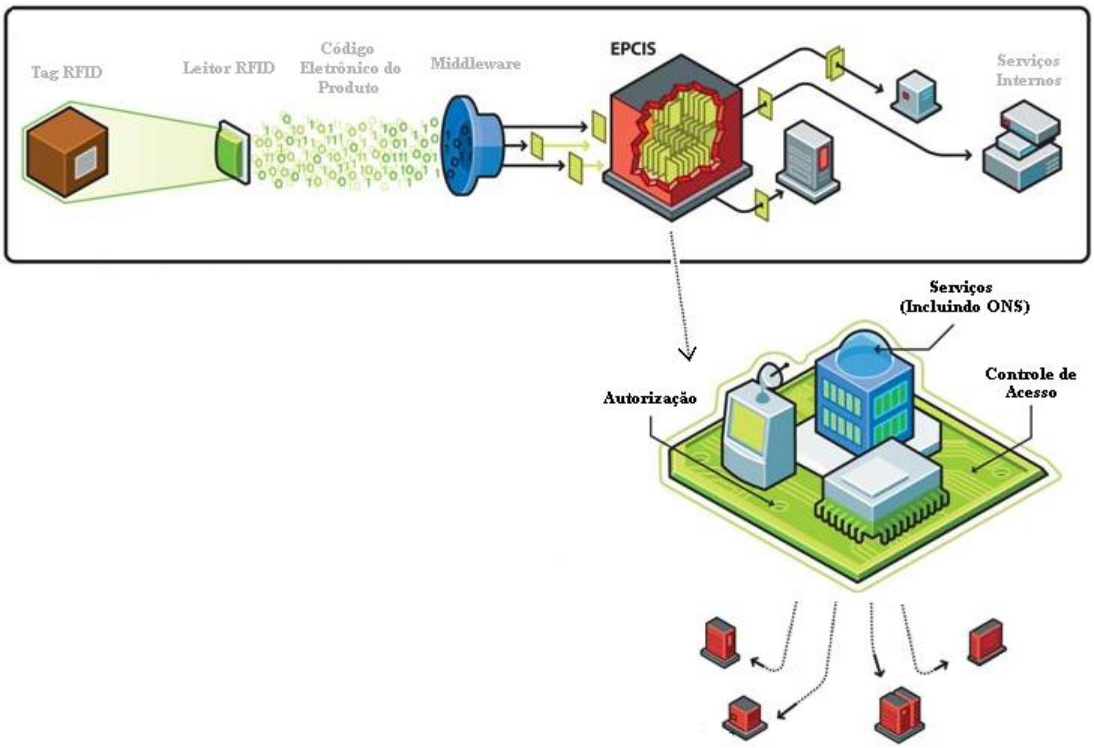


Fonte: Adaptado de (DAS e HARROP, 2014).

A popularidade crescente de RFID permite reduções de custos e reforça o interesse no uso desta tecnologia (ROUSSOS e KOSTAKOS, 2009). Pesquisadores da Universidade de Harvard descreveram vários métodos de baixo custo para a fabricação de circuitos eletrônicos em papéis flexíveis (SIEGEL et al., 2010). Soluções como esta, associadas a maior disponibilidade de infraestrutura de Internet, contribuem para ampliar a gama de serviços fornecidos por sistemas que utilizam RFID.

Em geral, tais sistemas possuem essencialmente etiquetas, leitores, aplicações de software, hardwares e *middlewares* (CHEUNG, KAILING e SCHONAUER, 2007). De posse do identificador único de cada produto, o Sistema deve realizar consultas locais ou na *Web* por meio do Serviço de Informação EPC (Electronic Product Code Information Services – EPCIS), a fim de obter informações relevantes deste produto, conforme Figura 7.

Figura 7 – Funcionamento básico de sistemas que utilizam RFID



Fonte: Autor

Como descrito em Campos (2010), o funcionamento básico de um sistema que utiliza RFID, executa as seguintes atividades: (i) leitura do código eletrônico do produto (*Eletronic Product Code* – EPC) armazenado na *tag*, (ii) filtragem e tratamento do número EPC pelo *middleware*, (iii) busca de informações relacionadas ao objeto nas bases de dados internas, (iv) autenticação em uma rede externa, (v) busca de informações relacionadas ao objeto nas bases de dados externas e (vi) entrega dos resultados ao usuário ou aplicação que efetuou a requisição.

2.2.2 Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)

Uma RSSF pode ser definida como um grande número de sensores atuando em uma área delimitada, sendo que a principal utilidade destas é captar informações do ambiente em que estão inseridos, como temperatura, umidade relativa, luminosidade, pressão, entre outros, além de se comunicarem entre si (WILSON, 2004; GLISIC E LORENZO, 2009). Os sensores são acoplados a dispositivos eletrônicos denominados nós (ou nodos), inseridos no fenômeno a ser medido, que se conectam a estações centrais, chamadas de estação base (AGUILAR, 2008). As

principais vantagens no uso da tecnologia de RSSF são: evitar os problemas de infraestrutura advindos do uso de fios e cabos e considerável velocidade na transmissão de informações, permitindo a transferência de informações em tempo real (WILSON, 2004).

Uma RSSF possui três componentes principais: infraestrutura (características dos sensores, seu número e disposição na área de abrangência do fenômeno a ser medido), pilha de protocolos (software utilizado na implementação das camadas de protocolos em cada nó sensor da rede) e aplicação (componente que representa os interesses e consultas dos usuários) (AGUILAR, 2008).

No domínio da agricultura uma RSSF desenvolvida especialmente para esse tipo de aplicação é da linha ēKo Pro Series da MEMSIC™[7] (CROSSBOW, 2009), conforme Figura 8. Essa RSSF consiste em um conjunto de equipamentos projetados para atender os requisitos de aplicações agrícolas, como robustez ao ambiente (chuva, sol, poeira) e autonomia (alimentação por baterias recarregáveis por meio de células solares) para aplicações relacionadas principalmente com o monitoramento ambiental e com a agricultura de precisão.

Figura 8 – Principais equipamentos da RSSF ēKo, Rádio Base, Gateway, Nós e Sensores

Fonte: MEMSIC™

As RSSF estão cada vez mais assumindo um papel fundamental em vários cenários de aplicação, tais como saúde, agricultura, monitoramento ambiental e

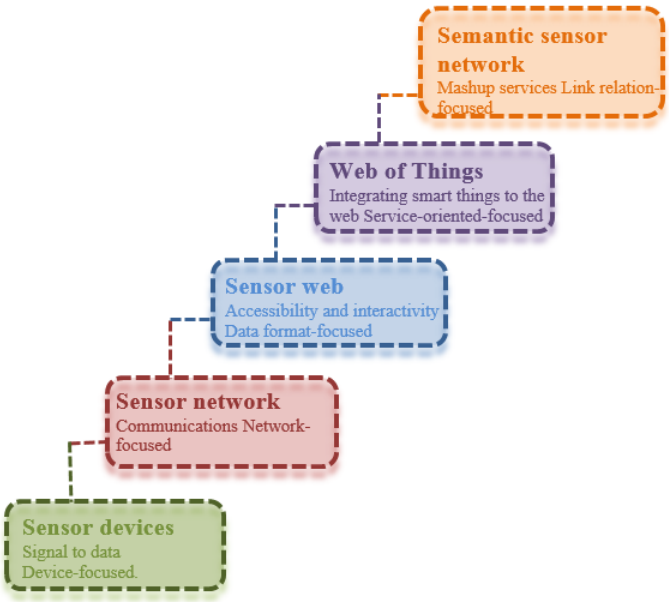
[7] A MEMSIC é uma empresa que desenvolve sensores e tecnologias de integração de sistemas, fundada em 1999 com sede em Andover, Massachusetts, Estados Unidos. http://www.memsic.com/

medição inteligente (ZHU et al., 2010). Essa tendência crescente de utilização das RSSF tem incentivado o surgimento de pesquisas para integração de sensores com redes como em Mainetti et al. (2011).

Além disso, em fevereiro de 2014, a *Iridium Communications* Inc.[8] lançou um hardware, o *Iridium Go*!, que cria uma rede sem fio em qualquer lugar do mundo a partir de conexão via satélite. Nesse sentido, RSSF integrada a RFID tem-se mostrado uma solução interessante para aplicações que necessitem de rastreabilidade confiável, de qualidade e de alto desempenho no paradigma IoT (MAINETTI, PATRONO e VILEI, 2011).

Finalmente, é importante considerar a evolução dos sensores, conforme Figura 9. Nela são especificadas todas as tecnologias em ordem cronológica (da esquerda para a direita) e informações breves de cada estágio.

Figura 9 – Evolução dos sensores à rede de sensores semânticos na perspectiva IoT



Fonte: Adaptado de (WANG 2015)

Em geral, a diferença fundamental nas preocupações centrais de cada estágio reside no processamento de granularidade mais fino e na utilização mais suficiente dos dados. No contexto de RSSF para a cadeia de abastecimento de vinho, temos a maioria das aplicações em duas fases, ou seja, *Sensor Web* e *Web of Things*. No

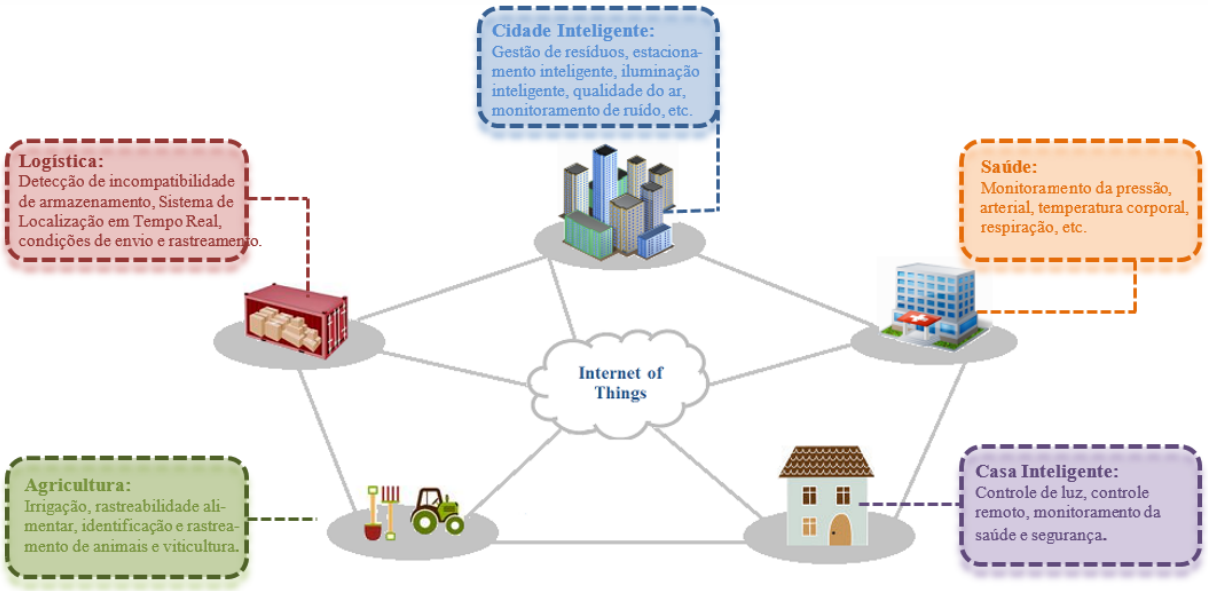
[8] A Iridium é uma empresa de comunicações de voz e dados por satélite, fundada em 1990 com sede em McLean, Virgínia, Estados Unidos. http://www.iridium.com/

entanto, esperamos que o estágio "*Semantic Sensor Network*" seja alcançado o mais rapidamente possível a fim de estabelecer uma relação mais ampla e mais abrangente com grandes dados, geralmente, de fontes heterogêneas.

2.3 Aplicações de IoT

O pico de expectativas em torno da IoT, conforme Figura 4, estimulou a busca por mais domínios de aplicações, conforme Figura 10.

Figura 10 – Aplicações e conectividade entre cinco domínios da IoT



Fonte: Campos e Cugnasca (2014)

Foram identificados cinco domínios principais, quais sejam: saúde, agricultura, logística, cidades inteligentes e casa inteligente. Os domínios das aplicações foram selecionados a partir de uma ampla revisão da literatura, de acordo com a relevância dos trabalhos, o número de citações, a frequência de aplicações na mesma área, a atualidade da publicação (ano de publicação recente) e a utilização das tecnologias de base RFID e/ou RSSFs.

2.3.1 Saúde

Aplicações no domínio de saúde vêm ganhando destaque, podendo-se destacar as redes BAN (*Body Area Network*), também conhecida como Redes de Sensores Corporais (*Body Sensor Network* – BSN) ou uma Rede de Área Corporal

Sem Fio (*Wireless Body Area Network* – WBAN). Sensores são usados para monitorar parâmetros, como pressão arterial, temperatura corporal e atividade respiratória. Para este fim, os sensores podem estar inteiramente dentro do corpo humano, sobre ele ou nas suas proximidades (dentro do bolso de uma camisa, por exemplo). Em Pang et al. (2014) é possível verificar outras aplicações no domínio da saúde englobando vigilância do paciente e detecção de queda para pacientes idosos.

2.3.2 Logística

O uso das tecnologias RFID e RSSF vem apoiando a logística em uma direção bastante positiva (CHEUNG et al., 2008). A combinação de logística e IoT permite a otimização e distribuição em tempo real. Quase todos os fatos em uma empresa, a partir de identificadores e sensores onipresentes, passaram a estar disponíveis quase que instantaneamente. As aplicações atuais incluem, entre outras, a detecção de incompatibilidade de armazenamento (ATALI et al., 2009), o Sistema de Localização em Tempo Real (*Real-Time Location System* – RTLS) (BOULOS e BERRY, 2012) e a qualidade das condições de envio e rastreamento (MAHLKNECHT e MADANI, 2007).

2.3.3 Cidades Inteligentes

A adoção do paradigma IoT em uma escala mais ampla encontra aplicações em muitos diferentes domínios e contextos de uma cidade (SCHAFFERS et al., 2011). No trabalho apresentado em Zanella et al. (2014), são apresentadas nove aplicações de IoT em cidades inteligentes, que são: gerenciamento de resíduos, qualidade do ar, monitoramento de ruído, gerenciamento do tráfego urbano, consumo de energia da cidade, estacionamento inteligente, iluminação inteligente, automação e salubridade de edifícios públicos.

2.3.4 Casas Inteligentes

As redes de automação doméstica sem fios (*Wireless Home Automation Networks* – WHANs) permitem aplicações de monitorização e controle para o conforto do utilizador doméstico e gestão doméstica eficiente. WHANs permitem uma variedade de casos de uso, como apresentado em Gomes e Paradells (2010), com

uma lista não exaustiva de exemplos: controle de luz, controle remoto de equipamento eletroeletrônicos, cuidados remotos e segurança.

2.3.5 Agricultura

Aplicações no domínio da agricultura que usam RFID, RSSF e atuadores atualmente estão em estágios avançados (RUIZ-GARCI e LUNADEI, 2011; ABBASI et al., 2014). Isso contribuiu para o aumento de variedades de terminologias atualmente em uso, tais como Agricultura de Precisão (AP), Agricultura Inteligente, Gestão de Culturas, etc (SRINIVASAN, 2006). Neste contexto, são consideradas as seguintes áreas de aplicação: irrigação, rastreabilidade alimentar, identificação e rastreio de animais, viticultura etc. (YAN-E, 2011). Mais detalhes das aplicações de IoT nesse domínio serão abordados no Capítulo 3.

2.4 Considerações finais do capítulo

Este capítulo mostrou que a visão tida por Mark Weiser em 1991, de computadores presentes em interruptores de luz, termostatos, aparelhos de som e fornos, está se tornando realidade. Com tudo e todos conectados uns aos outros, o planeta tende a se transformar em um imenso campo informacional global, no qual tudo e cada um possa ter, para si, dados, informação e conhecimento para tomada de suas decisões mais diminutas ou grandiosas.

Dessa forma, modelos, arquiteturas e aplicações devem seguir uma tendência natural de mudança de paradigma, no qual a *Web* deixará de ser pautada em informações fornecidas por pessoas, para colocar as coisas como protagonistas do maior fluxo de dados e informações que circularão na Internet

3 APLICAÇÕES DE IoT NO AGRONEGÓCIO

Esse capítulo apresenta e discute as principais aplicações da IoT no agronegócio, sobretudo devido à estreita relação entre o agronegócio e o objeto desta tese, bem como as linhas de pesquisa trabalhadas no Laboratório de Automação Agrícola (LAA) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli–USP) no qual o autor atua. Entre os principais resultados obtidos pelo LAA nessa área destacam-se um sistema de informação para o monitoramento da produção e processamento de uva utilizando RSSF; modelos de rastreabilidade; estudos de cadeias de suprimentos de produtos agroindustriais e projetos aprovados em agências de fomento estadual e federal (SOBRINHO e CUGNASCA, 2004; PORTO et al., 2007; SOBRINHO, 2008).

3.1 Agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão (AP), ou a gestão baseada na informação de sistemas de produção agrícola, surgiu em meados da década de 1980 como uma forma de aplicar o tratamento apropriado, no lugar certo e na hora certa (PIERCE e NOWAK, 1999; ROBERT, 2002; STAFFORD, 2006). Inicialmente, a agricultura de precisão foi utilizada para adaptar a distribuição de fertilizantes, em diferentes condições de solo por meio de um campo agrícola. Desde então, as práticas adicionais têm evoluído para orientação automática de veículos e implementos agrícolas, máquinas e processos autônomos, rastreabilidade de produtos, pesquisas no campo e software para a gestão global dos sistemas de produção agrícola (MCBRATNEY et al., 2005).

De acordo com Uddenfeldt (2008), em vez de tomar decisões baseadas em alguma condição hipotética média, que pode não existir na realidade, a agricultura de precisão, deve identificar as diferenças e ajustar ações de gestão de acordo as necessidades. Nesse sentido, a tecnologia de comunicação sem fio tem possibilitado a tomada de decisões mais precisas, baseadas em informações em tempo real.

Casos de sucesso são apresentados, por exemplo, em Hamrita e Hoffacker (2005) e Vellidis et al., (2008) que desenvolveram protótipos para medição sem fio de temperatura do solo. No primeiro caso o sistema é baseado em *tags* RFID enquanto

que no segundo caso, RSSF são utilizadas para informar a temperatura e a umidade do solo. Assim é possível irrigar o campo em regiões específicas ao invés de irrigar todo o campo em resposta aos dados de sensores gerais.

Em estufas, a tecnologia RFID permite, por meio de percepção ambiental e imagem espectral, medições de temperatura, umidade relativa e iluminação individualizadas e rastreáveis como pode-se verificar em trabalhos de Yang et al. (2008) e Barge et al. (2010). Em pomares, quando dados do GPS não estão disponíveis devido à folhagem, RFID pode ser usado para identificar as caixas dos frutos (AMPATZIDIS E VOUGIOUKAS, 2009). Além disso, a identificação de árvores como videiras e plantas cítricas é possível com a implantação de *tags* em seus troncos (BOWMAN, 2010; LUVISI E PANATTONI, et al., 2010; LUVISI E PANATTONI, et al., 2011).

Em suma, a utilização de RFID e RSSF na agricultura de precisão permite que plantas e o campo sejam monitorados e compartilhem informações tais como identificação, parâmetros de crescimento, suscetibilidade a fatores de estresse bióticos e produtividade. Todas essas informações estão convergindo de forma a ficarem disponíveis serviços Web, garantindo que os usuários possam recuperar as informações como e onde quiserem (LUVISI E TRIOLO et al., 2010).

3.2 Identificação e rastreamento de animais

Na identificação e rastreamento de animais, leitura e transmissão de dados por meio de RSSF e RFID estão permitindo identificar e tratar animais de forma individual, reduzindo a carga de trabalho e estresse tanto nas pessoas quanto nos animais. Os benefícios vão além do ambiente agrícola. Com RFID é possível rastrear e recuperar animais perdidos, minimizar a intervenção e contato do homem com os animais e, sobretudo, obter dados de todo o ciclo de vida dos animais.

Em um ambiente global onde casos de doenças transmitidas por animais deixaram de ser incomuns, o desenvolvimento e implementação de sistemas confiáveis e eficazes de identificação e rastreamento individual de animais tem sido impulsionado e estão cada vez mais comuns em fazendas do mundo inteiro (VOULODIMOS et al., 2010; SIROR et al., 2009 e FUKATSU E NANSEKI, 2009). As

formas tradicionais de identificação dos animais são menos eficientes e imprecisas em comparação com a tecnologia RFID (TREVARTHEN, 2007). Existem quatro formas básicas para fixação de *transponders* RFID em animais, são elas: colar, brincos, subcutâneos e estomacal (FINKENZELLER e WADDINGTON, 1999).

Além de minimizar os erros humanos na identificação dos animais, a durabilidade da identificação feita com RFID em comparação com métodos tradicionais (marcas ou tatuagens) e a combinação entre software de gerenciamento de rebanho e sistemas de identificação RFID tem possibilitado recuperar informações detalhadas como registro de tratamentos médicos, dados de crescimento das pastagens, circulação dos animais, compra, venda e informações sobre a carcaça dos animais abatidos. Projetos como em Curkendall e Pape (2002) e Voulodimos et al. (2010) mostram aplicações onde o consumidor pode obter dados compartilhados por produtor, pecuarista, veterinário, etc, por meio da Internet.

Nesse sentido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil instituiu o Sistema Brasileiro de Identificação e Certificação de Origem Bovina e Bubalina, o SisBov, para identificar, registrar e monitorar, individualmente, todos os bovinos e bubalinos nascidos no Brasil ou importados (BRASIL, 2002). A principal motivação para a criação do SisBov foram as exigências impostas pela comunidade europeia para importação de carne bovina. Em 2006, após a publicação de inúmeras instruções normativas e portarias, o governo publicou uma nova legislação, abolindo as anteriores e instituindo um “novo” sistema, que passou a ser conhecido como Serviço de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos. A finalidade foi atender a exigências para equivalência do SisBov com os padrões de confiabilidade dos sistemas de rastreabilidade internacionais.

3.3 Cadeia frigorífica

O controle da temperatura em cadeias produtivas de mercadorias sensíveis a temperatura é fundamental para possibilitar segurança microbiológica e qualidade dos alimentos. Nesse sentido, várias aplicações de monitoramento logístico da cadeia de frios têm sido desenvolvidas, entre elas, o projeto apresentado em Abad et al. (2009) que mostra uma solução para o acompanhamento em tempo real da temperatura na

cadeia do peixe e Ogasawara e Yamasaki (2006) que apresentam soluções para cadeias de frios que usam *tags* RFID com sensores de temperatura embutidos.

O ponto crítico no monitoramento da temperatura durante todo o processo de transporte recai nos diferentes ambientes e materiais a que a mercadoria estará exposta (MAI et al., 2012; RAAB, PETERSEN E KREYENSCHMIDT, 2011). Por exemplo, as temperaturas ambientes podem variar dependendo do material da embalagem e empacotamento. Dessa forma, as *tags* equipadas com sensores de temperatura devem ser bem localizadas em paletes, paredes do refrigerador ou caixas.

Em Jedermann, Ruiz-Garcia e Lang (2009) os autores monitoram dezesseis caminhões colocando *tags* em suas paredes. Foram usadas *tags* semipassivas de 13,56 MHz contendo sensores de temperatura. Chegou-se à conclusão de que se as *tags* fossem colocadas nos paletes a legibilidade cairia significativamente.

3.4 Logística

A Logística empresarial é definida por Ballou (1993) como todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até ao ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável. Nesse sentido, é possível verificar atuação da IoT em três importantes atividades primárias da logística: o transporte, a manutenção de estoques e o processamento de pedidos. Novamente as tecnologias RFID e RSSF tem ampliado o alcance da IoT, sobretudo, no transporte de containers (MAHLKNECHT e MADANI, 2007) e rastreamento automatizado de distribuição (SONG et al., 2006).

Um sistema em tempo real de gestão de veículos, incluindo RFID, sistema de informação geográfica (*Geographical Information System* – GIS) e sistema de posicionamento global (*Global Positioning System* – GPS) é apresentado em Wang (2008) com objetivo de planejar e programar as rotas ideais dos veículos utilizando informações dos serviços de logística e distribuição. É usado um método heurístico

de inserção para formular a programação dos veículos e procurar a solução em relação a solução ótima.

Por fim, porém não conclusivo, o trabalho Kim e Sohn (2009) propõem um modelo de custo de propriedade (*Cost of Ownership* – CoO) e benefícios para a construção e operação do sistema de logística RFID em todas as fases do gerenciamento da cadeia de suprimentos. O modelo proposto foi aplicado em um caso de sistema de logística por meio da criação de três cenários possíveis. A partir dos cenários analisados são apresentadas as condições para desenvolver novos sistemas de logística RFID aplicáveis a uma cidade ubíqua (u-city) por ser a política mais rentável entre os três cenários no que se referem ao custo das *tags* RFID, venda de produtos, perda média de produtos e média dos lucros operacionais

3.5 Identificação e localização de produtos

Outra importante área de atuação das tecnologias RSSF e RFID tem sido no desenvolvimento de sistemas para identificação e captura de dados nas cadeias de suprimentos (*Supply Chain Management* – SCM) (PING et al., 2011).

Um importante estudo sobre o impacto da tecnologia RFID e EPC em rede móvel *Business-to-Business* (B2B) de comércio eletrônico foi realizado por (FOSSO et al., 2008). Por meio de um projeto piloto foram testados vários cenários que integram a rede RFID em empresas inter-relacionadas numa cadeia de suprimentos. As principais conclusões foram que a rede RFID pode (i) melhorar os processos de transporte, recepção e arrumação, (ii) cancelar, automatizar ou acionar alguns processos de negócios automaticamente e (iii) promover um maior nível de compartilhamento das informações entre os membros da cadeia de suprimentos.

Outro estudo relevante em cadeias de suprimentos refere-se aos RTLS nos processos complexos de fabricação (THIESSE E FLEISCH, 2008). Os autores Thiesse e Fleisch (2008) usaram um estudo de caso baseado em uma fábrica de semicondutores para investigar o valor da informação RTLS sobre a localização de objetos em um sistema de produção. Usando um modelo de simulação, eles concluíram que o uso da tecnologia RTLS proporciona oportunidade para novos níveis de visibilidade e controle de processos em comparação com sistemas de

rastreamento convencionais. Os benefícios foram uma aceleração geral dos processos existentes e um ganho de eficiência por meio de novas regras de despacho por meio de informações em tempo real sobre processos de logística no chão da fábrica.

3.6 Considerações finais do capítulo

O domínio do agronegócio ainda é carente de aplicações baseadas em IoT propriamente ditas, porém, a utilização de suas tecnologias base tais como RFID e RSSF avançam em diversas áreas de aplicações. De maneira geral, a união das aplicações no agronegócio apresentadas nesse capítulo culmina em um mesmo fim: a rastreabilidade, seja do produto final, da matéria prima ou dos insumos. Por meio da rastreabilidade é possível visualizar o produto em toda a cadeia de suprimentos, ou seja, as condições de fabricação, transporte e armazenamento durante o ciclo de vida do produto.

Diante do exposto, o uso da IoT na agricultura e na indústria de alimentos tem fornecido novos recursos para tornar o processo produtivo mais confiável, eficiente, economicamente viável e mais preciso por conta das leituras de etiquetas identificadas unicamente e sensores que monitoram variáveis ambientais em tempo real e initerruptamente.

4 APLICAÇÕES DE IoT NA VITICULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Entre as aplicações de IoT e suas tecnologias base no domínio agroindustrial, destaca-se a cadeia do vinho pois trazem grandes benefícios à sua produção. Além disso, a cadeia do vinho é classificada como sendo de alto valor agregado, portanto, a demanda de qualidade por seus consumidores justifica a aquisição de tecnologias modernas para segurança alimentar, rastreabilidade e elevação da qualidade do produto (CAIXETA-FILHO E GAMEIRO, 2001). No Brasil, o consumo de vinho e espumantes aumenta a cada ano, bem como as exportações nos últimos anos, conforme Figura 11 (IBRAVIN, 2016).

Figura 11 – Dados da exportação de vinhos brasileiros em 2016

Fonte: Autor

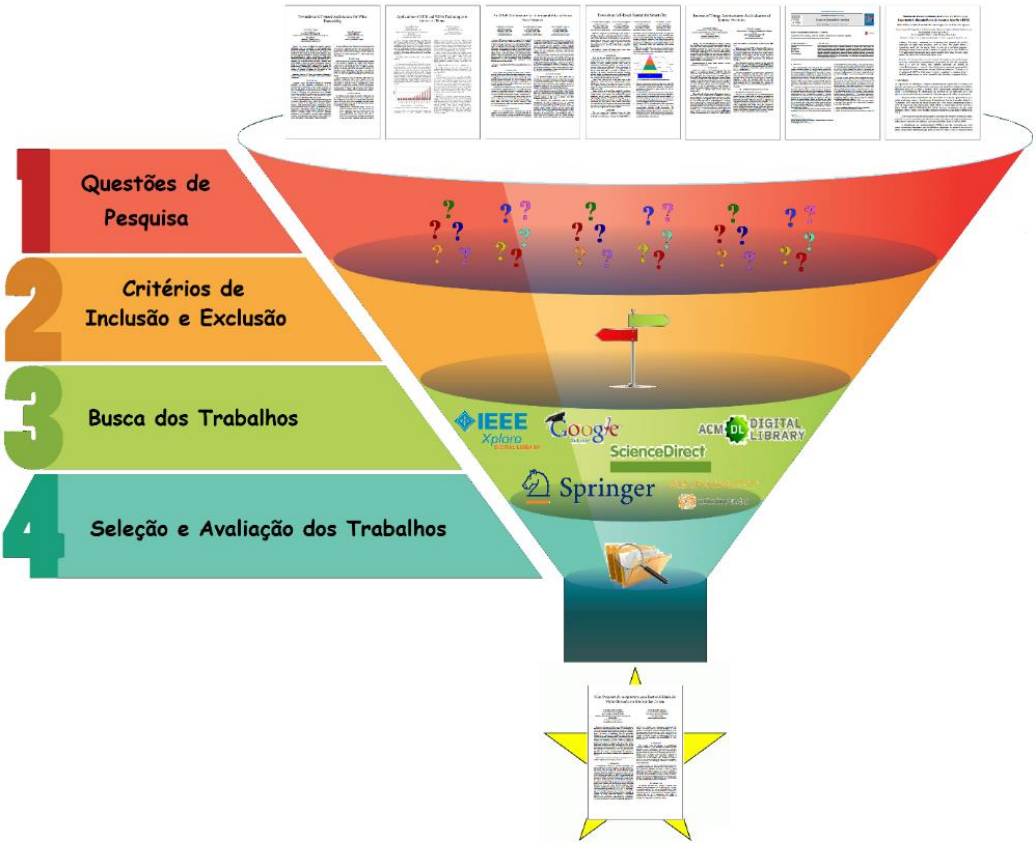
A manutenção do vinho na temperatura de armazenamento correta, por exemplo, diminui alterações químicas e sensoriais (SIMS E MORRIS, 1984; PRESA-OWENS E NOBLE, 1997; PÉREZ-COELLO et al., 2003). Desta forma, garantir um sistema de manutenção da temperatura dentro de limites aceitáveis, é fundamental para manter a competitividade do mesmo no comércio internacional.

Nesse contexto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (*Systematic Literature Review* – SLR) a fim de identificar as principais características das aplicações de IoT e/ou suas tecnologias base na cadeia do vinho. Uma SLR é um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas relevantes disponíveis para uma determinada questão de pesquisa, domínio ou fenômeno de interesse (KEELE, 2007). Portanto, as subseções a seguir apresentarão os resultados da revisão sistemática realizada.

4.1 Procedimentos metodológicos

As quatro etapas do método proposto por Toschi, Campos e Cugnasca (2017) foram adotadas na execução da revisão sistemática, conforme Figura 12, são elas: **(i)** Definição das questões de pesquisa, **(ii)** Definição dos critérios de inclusão e exclusão, **(iii)** Busca dos trabalhos e **(iv)** Seleção e avaliação dos trabalhos.

Figura 12 – Etapas do método da revisão sistemática



Fonte: Autor

Em linhas gerais o objetivo desse método é reunir inicialmente o maior número de trabalhos publicados na literatura aderentes às questões de pesquisa pré-definidas e selecionar, em bases de dados indexadas, os trabalhos mais relevantes. Os objetivos e atividades de cada etapa são descritos na Tabela 1.

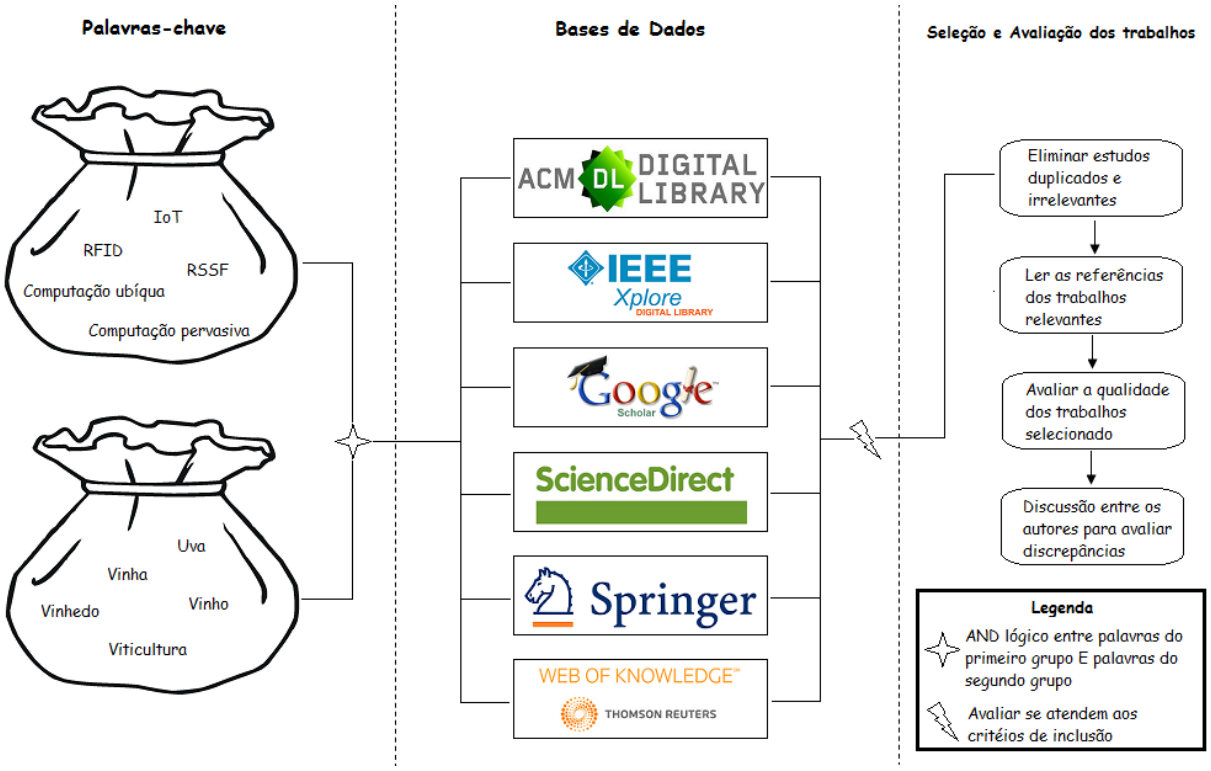
Tabela 1 – Objetivos e atividades das etapas da revisão sistemática

Etapas	Objetivos	Atividades
Definição de questões de pesquisa	• Compreender e apresentar as aplicações de Internet das Coisas ou das suas tecnologias base (RFID e RSSF) na cadeia de suprimentos do vinho.	• Investigar a questão a seguir: quais são os principais trabalhos publicados na literatura com aplicações da IoT ou das suas tecnologias base (RFID e RSSF) na cadeia de suprimentos do vinho; • Resultado: direcionamento correto para o levantamento/revisão.
Definição dos critérios de inclusão e exclusão	• Encontrar todos os artigos relevantes para a pesquisa	• Definir critérios de inclusão: (i) aplicações na viticultura, (ii) uso das tecnologias base RFID ou RSSF, (iii) abordagens focadas no processo produtivo e (iv) trabalhos escritos em língua inglesa (um estudo deve satisfazer todos os critérios) e • Definir critérios de exclusão: (i) utilização de outras tecnologias base isoladamente e (ii) uso inapropriado do termo IoT (um estudo não satisfaz qualquer critério).
Busca dos trabalhos	• Procurar os trabalhos relevantes que satisfaçam todos os critérios de inclusão e não satisfazem quaisquer critérios de exclusão	• Pesquisando bancos de dados abaixo: (a) IEEE Xplore, (b) ISI web of Science, (c) ACM Biblioteca Digital, (d) Science Direct, (e) Springer, e (f) Google Scholar; • Os termos de pesquisa foram descritos da seguinte forma: (IoT, RFID, RSSF, Computação ubíqua ou Computação pervasiva) e (Uva, Vinho, Vinha, Vinhedo ou Viticultura), sempre em língua inglesa.
Seleção e avaliação	• Selecionar estudos relevantes capazes de abordar questões de pesquisa	• Eliminar estudos duplicados e irrelevantes; • Leitura da lista de referência de todos os trabalhos relevantes para detectar artigos adicionais relevantes; • O autor avaliou a qualidade dos estudos selecionados; • As discrepâncias no resultado da avaliação da qualidade foram discutidas entre o autor e o orientador com o objetivo de alcançar consenso.

Fonte: Autor

Para a busca nas bases de dados foram definidos inicialmente dois grupos de palavras-chave, no primeiro, ficaram as palavras IoT, RFID, RSSF, Computação Pervasiva e Computação Ubíqua. No segundo grupo ficaram as palavras do domínio de aplicação da tese são elas: viticultura, vinhedo, vinho, vinha e uva. Dessa forma, as *strings* de busca contemplaram, no mínimo, uma palavra de cada grupo, conforme Figura 13.

Figura 13 – Método de busca nas bases de dados, seleção e avaliação dos trabalhos



Fonte: Autor

As ocorrências das *strings* de busca foram verificadas tanto nos títulos, resumos e nas palavras-chave dos trabalhos. Após a obtenção dos trabalhos em todas as bases de dados, foram desconsiderados os trabalhos redundantes e àqueles que estavam em desacordo com as questões de pesquisa. Em seguida, as referências dos trabalhos selecionados também foram analisadas a fim de encontrar novos trabalhos relevantes. Por fim, o autor analisou a qualidade dos trabalhos finais e discutiu com o orientador e demais membros do LAA possíveis discrepâncias.

Em tempo, é válido ressaltar que foram utilizadas somente *strings* de busca em língua inglesa e o ano de publicação dos trabalhos não teve limite inferior, enquanto que os trabalhos mais recentes datam do ano de 2016.

4.2 Resultados

Poucos foram os trabalhos encontrados com abordagens propriamente baseadas em IoT, por outro lado, a maioria das aplicações concentraram-se em duas tecnologias base da IoT, foram elas: RSSF e RFID. Dessa forma, os resultados foram

subdivididos em dois grupos, apresentados nas subseções RSSF (seção 4.2.1) e RFID (seção 4.2.2).

4.2.1 Trabalhos que utilizam predominantemente RSSF

Um dos primeiros trabalhos publicados na literatura foi o de foi de Burrell et al. (2004) que apresenta a utilização de redes de sensores sem fio no vinhedo. Os autores utilizaram métodos etnográficos incluindo entrevistas, visitas a sites e trabalho observacional para compreender amplamente as atividades e prioridades do trabalho e papéis daqueles que trabalham em uma vinha. Uma das soluções apresentadas usa o conceito de rastrear o movimento dos trabalhadores através das próprias ferramentas tais como, tesouras de poda e pás. Além disso, foi possível verificar que o próprio ambiente também fornece respostas a perguntas sobre coleta de dados, por exemplo, grande variabilidade dentro da vinha durante o dia em relação à noite. Assim, para aumentar a eficiência energética dos nós sensores, as leituras eram realizadas com menos frequência no período da noite.

Em Anastasi, (2009) é apresentado um protótipo de sistema baseado em RSSF para monitorar o ciclo produtivo de vinho de alta qualidade em uma adega siciliana. Nós sensores foram implantados ao longo das linhas de videira para registrar temperatura, radiação solar e umidade, velocidade e direção do vento. Além disso, a adega também foi monitorada, onde as condições ambientais devem ser constantemente mantidas sob controle. Este trabalho pode ser considerado com o pioneiro na utilização de RSSF na cadeia de fornecimento de vinho e iniciou discretamente uma abordagem da rastreabilidade do vinho.

Outro projeto em destaque na literatura é o sistema NAV (Network Avanzato per il Vigneto) (MATESE 2009). Esse sistema consiste em uma RSSF que tem o objetivo de monitorar remotamente e em tempo real parâmetros meteorológicos em quatro vinhas experimentais região da Toscana (Itália). Um nó do sistema NAV é capaz de funcionar durante pelo menos três dias sem carga do painel solar, semelhante a períodos de radiação solar insuficientes causados por céus nublados.

Posteriormente, (JARDAK 2011) apresenta um RSSF composta por 64 sensores para monitorar um vinhedo comercial na cidade de Neustadt, na Alemanha.

Na época, a principal inovação foi o envio de e-mails a cada quatro horas para monitorar o comportamento do sistema e salvar as leituras coletadas em um banco de dados.

Definir as distâncias máximas entre nós em uma vinha é o objetivo principal do trabalho de (GAY-FERNANDES, 2011). Para tanto, os autores fornecem um modelo para estimar o comportamento de propagação em ambientes de vegetação e apresentam os resultados obtidos em uma implantação real de rede sem fio em uma vinha, instalada com este modelo. Para cobrir uma área de aproximadamente 6 km^2 na vinha foram utilizados seis nós da rede ēKo. Quatro sensores diferentes foram conectados em cada nó ēKo, sendo eles umidade, temperatura, radiação solar e potencial hídrico do solo.

O trabalho apresentado por (KAMEOKA, 2014), além dos sensores de temperatura e umidade adicionou a medida do fluxo de seiva na árvore da videira com a finalidade de avaliar a capacidade de troca gasosa na copa das videiras e a medição de imagem para uva. Porém, em quatro meses de coleta de dados a memória reservada para armazenamento dos dados havia esgotado. Revelou-se, portanto, que um cartão SD deve ter mais de 4 GB de capacidade e pelo menos 10 MB/s de taxa de transferência ao utilizá-lo em campo ou adotar um disco rígido externo.

No trabalho apresentado por (CATANIA, 2013), realizado na Sicília (Itália), o objetivo é monitorizar o microclima da videira, a fim de controlar os riscos da primavera, reduzir os custos operacionais da vinha e aumentar a qualidade das uvas. Os resultados mostraram que, com referência à temperatura, os dados medidos por sensores foram consideravelmente diferentes dos dados da estação meteorológica, especialmente para temperaturas acima de 20 °C. Por outro lado, na umidade relativa, não houve diferenças entre os dois tipos de sensores. Aqui se pôde notar que as RSSF permitem a detecção precisa dos parâmetros ambientais básicos.

Sensores projetados para um propósito específico na indústria do vinho também são apresentados na literatura científica. O trabalho desenvolvido por (ZHANG, 2015b) apresenta um sensor de baixo custo (cerca de 27 dólares australianos) para o monitoramento simultâneo de temperatura e vazão de vinho em barricas em dois dos mais importantes estágios de vinificação (fermentação e

maturação). Além disso, é possível transmitir sinais de aviso prévio quando a temperatura ou a vazão se desvia das expectativas do produtor, de modo que uma ação corretiva possa ser tomada. Para os autores, deve ser contemplada a possibilidade de que os sensores sejam fabricados via utilização de impressão 3D, o que pode reduzir ainda mais seu custo.

Em outro trabalho, dessa vez em (RANASINGHE, 2013) é proposto um sensor de baixo custo capaz de medir gradientes de temperatura em cubas para monitoramento em tempo real dos processos de fermentação do vinho. Além disso, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão em etapas de vinificação usando lógica *fuzzy*

Enquanto isso, Dartir e Wang (2014) propõem reduzir o investimento na vinha e aumentar o lucro. O uso de pesticidas e fungicidas aumenta o custo de produção de uvas, dessa forma, o sistema implementado fornece monitoramento em tempo real de dados meteorológicos e a probabilidade de doenças, fornecendo o melhor momento para aplicar pesticidas. Os autores preveem que em dois anos o lucro aumente em 50%.

O trabalho apresentado por Peres (2011) centra sua investigação sobre os itens necessários para melhorar a usabilidade e escalabilidade das redes, tais como infraestruturas de gateway e processamento *in-field*. Para isso, os autores desenvolveram o *Intelligent Precision Agriculture Gateway* (iPAGAT), capaz de permitir que usuários locais e remotos acessem dados de gateway remotos por meio da Internet e executem ferramentas de gerenciamento específicas de sites usando autenticação via dispositivos móveis.

4.2.2 Trabalhos que utilizam predominantemente RFID

Nas aplicações RFID voltadas para a cadeia de suprimentos do vinho destacam-se três pesquisadores: Andrea Luvisi, Isabel Expósito e Iñigo Cuiñas. Os respectivos grupos de investigação localizados na Itália e Espanha (os dois últimos) também estão incluídos.

Inicialmente, no trabalho de Luvisi, os objetivos são usar RFID para identificação de plantas, rastreabilidade de vinhos e monitoramento remoto de vinhas.

No primeiro caso, a radiofrequência foi usada para marcar plantas e assim fornecer informações ao produtor tais como: identidade, suscetibilidade a fatores de estresse biótico, parâmetros de crescimento e produtividade (LUVISI et al., 2010). Os resultados mostraram que apenas 0,2% das *tags* eram ilegíveis imediatamente após a inserção dentro da videira, no entanto, após dois anos nenhuma tag foi comprometida, com 100% de microchips legíveis.

Quando o foco é a rastreabilidade na cadeia de produção da videira o objetivo é a certificação e gestão de risco (LUVISI et al., 2012). Para eles, as implicações existem em termos de disseminação mundial de patógenos de plantas (em particular vírus) e resíduos químicos. Assim, o sistema de rastreabilidade da cadeia de suprimentos proposto identifica informações tais como registros de cultivares de videira; história do produto, como foi conservado, testes (obrigatórios ou voluntários) realizados, informações sobre as partes interessadas; além de detalhes de produção de vinho como produtor de vinho e adega.

Em outro trabalho, Luvisi et al. (2011b), apresentam um mapa digital acessível através de sistemas móveis ou desktop. O chamado "vinhedo virtual" combina dados armazenados em uma etiqueta RFID implantada dentro de plantas de videira e um sistema GPS. Assim, cada planta de videira marcada por RFID pode ser selecionada, visualizada e editada. Os autores acreditam que isso pode ser útil para fins de marketing, considerando o potencial interesse dos consumidores finais das produções vinícolas.

Em Cuiñas (2014) é apresentada uma análise do Retorno sobre o Investimento (RoI) que as empresas dos setores de vinho, peixe e carne poderiam obter utilizando RFID e sensores. Os resultados mostram que a redução de tempo para verificar a umidade, temperatura e outros parâmetros do solo foi de cerca de 75%. Além disso, o tempo por mês necessário para recuperar dados relacionados ao controle de qualidade foi reduzido de 30 horas para oito horas, representando cerca de 74% de economia de tempo. Finalmente, o tempo médio necessário para encontrar um problema com os produtos foi reduzido de 12 horas para 2,5 horas. Em resumo, tendo em conta tais economias de tempo e o custo de implementação e manutenção do sistema, os benefícios foram estimados a aparecer entre o terceiro e o quinto ano após a instalação completa do sistema.

Para a autora Expósito, os objetivos da sua pesquisa são: estudar o desempenho de diferentes modelos de *tags* ligados às garrafas de vinho e a rastreabilidade da cadeia de suprimentos, combinando a identificação de radiofrequências e redes de sensores. No primeiro caso, os resultados das medições em torno dos frascos, em arcos de 360 graus, mostram redução na potência recebida, que é inferior a 23% em garrafas cheias em comparação com vazio, na maioria dos casos. Por sua vez, isso reforça a ideia de que o líquido dentro das garrafas afeta a antena do *tag* (EXPÓSITO, 2011). Por outro lado, o trabalho de Gonçalves (2014), apresenta o desenho de duas etiquetas UHF RFID utilizando material de cortiça como substrato para o desenho da antena. As etiquetas RFID propostas apresentam bons resultados em termos de alcance de leitura que atingem de 1,5 a 6 m.

No domínio da rastreabilidade, em Expósito (2013), é apresentada uma solução para a cadeia de suprimentos do vinho. De acordo com o autor é possível automatizar a coleta de dados ao longo de todas as etapas de elaboração do vinho, aumentando a precisão de registro, estado e localização do vinho. Para isso, foi anexada uma etiqueta RFID em cada equipamento (recipientes de uvas, máquinas de tratamento, etc.) e localização (por exemplo, tanques de vinho, prensas, calhas).

Assim, os dados sobre as atividades realizadas em cada etapa da cadeia produtiva do vinho, desde a colheita das uvas até o vinho ser engarrafado, são coletados com uso de uma aplicação de captura customizada instalada em leitores RFID. De acordo com os autores do trabalho, um leitor portátil RFID foi preferido sobre os leitores fixos, principalmente porque o tamanho da área exigia uma grande quantidade de leitores fixos, sendo os portáteis facilmente transportados de um ponto para outro minimizando as despesas de equipamento.

De forma semelhante, Cimino e Marcellonni (2012), propuseram um sistema capaz de armazenar sistematicamente informações sobre produtos e processos em toda a cadeia de suprimentos, desde os produtores de uva até os varejistas. A etiqueta RFID é utilizada nas primeiras etapas das cadeias de abastecimento de vinho para acelerar a operação de logística, bem como na última fase, que envolve a rastreabilidade da garrafa.

O projeto apresentado em Catarinucci (2011) chamado de "RFID Farm to Fork" tem como objetivo testar a capacidade da tecnologia RFID em um sistema completo de rastreabilidade que abrange desde os processos da fazenda até a mesa do consumidor. Os resultados iniciais apontaram para a utilização de um leitor RFID portátil para uma maneira rápida e confortável de controlar todos os movimentos de vinhos em uma adega. No entanto, de acordo com os autores, houve alguns problemas de leitura ao identificar as garrafas unicamente, além de elevar o custo do projeto.

A utilização da tecnologia RFID para fornecer avaliação de qualidade final do vinho final também é pesquisada na comunidade científica. No trabalho de Wang (2012), é apresentado um sistema de avaliação de qualidade do vinho onde é possível detectar incidentes na produção, reduzindo as perdas de lotes inteiros. Inicialmente os processos de fabricação do vinho foram divididos em quatro partes: o cultivo de uvas na vinha, a vinificação na adega, o envelhecimento na adega e distribuição. Durante a maturação, a RFID é utilizada para registar uma história completa de um barril (por exemplo, perfis de aroma e idade). Consequentemente, é possível atribuir uma nota ao fermentado, bem como o rastreamento de barril. Na fase de distribuição do vinho, a RFID permite verificar a localização e o fluxo logístico, além de detectar possíveis perdas de informações na cadeia de transporte.

Finalmente, o uso de telefones celulares ou PDAs para acessar informações ou serviços na indústria do vinho está aumentando. Por esta razão, o trabalho de Cunha (2010) apresenta o *Viticulture Service-Oriented Framework* que tem a finalidade de fornecer dados de uma etiqueta RFID por meio de dispositivos móveis. Segundo o autor, ao apontar um dispositivo móvel para uma etiqueta, o viticultor pode baixar dados como dados climáticos ou carregar informações como doenças e incidência de pragas de uma maneira simples.

4.3 Considerações finais do capítulo

As aplicações de IoT na cadeia de suprimentos do vinho ainda estão restritas a soluções privativas, ou seja, com poucas interações entre os agentes de toda a cadeia. Por outro lado, as tecnologias base da IoT têm avançado e possibilitado mais precisão e melhor acompanhamento da produção. Nas RSSF aplicadas à cadeia do

vinho, por exemplo, são monitoradas variáveis desde umidade, temperatura, estresse hídrico, luminosidade, etc no vinhedo, até temperatura e luminosidade em ambientes fechados das adegas.

No Brasil algumas soluções acadêmicas têm sido apresentadas, por exemplo, em Porto, Lopes e Zambalde (2007), Gogliano Sobrinho (2008), Silva, Campos e Cugnasca (2013) e Campos e Cugnasca (2015). Em 2011, uma solução proprietária nacional foi divulgada pela vinícola Perini[9]. Segundo a vinícola, o sistema de rastreabilidade tem possibilitado a obtenção de informações por parte dos consumidores de todas as etapas da elaboração dos produtos – desde a videira até a distribuição no mercado.

[9] http://www.vinicolaperini.com.br

5 ARQUITETURAS DE INTERNET DAS COISAS: UMA REVISÃO EXPLORATÓRIA

Devido a abrangência do paradigma IoT e a busca por soluções inéditas o mais previamente possível, inúmeras propostas de arquiteturas baseada em IoT e de IoT têm sido apresentadas tanto na academia quanto no contexto empresarial. Para sumarizar as principais abordagens tanto acadêmicas quando oriundas do domínio comercial foi adotada a revisão exploratória. Foram consideradas pesquisas exploratórias por meio de buscas em bases de dados científicas, além de outras fontes, tais como, relatórios técnicos, websites e padrões proprietários.

5.1 Procedimentos metodológicos

O tipo de pesquisa escolhido para realização dessa revisão foi pesquisa exploratória. O principal objetivo de uma pesquisa exploratória é buscar o aprimoramento de ideias ou descoberta de intuições (GIL, 2010). Seu planejamento é bastante flexível, porém, na maioria dos casos passa pelo (i) levantamento bibliográfico e (ii) análise dos resultados (casos ou exemplos) que estimulem a compreensão de um fenômeno. Dessa forma, a revisão exploratória apresentada nesse capítulo visa discutir e analisar o seguinte fenômeno: as principais abordagens de arquiteturas baseadas em IoT.

Inicialmente, o levantamento bibliográfico foi realizado no engenho de busca da Google e em seis bases de dados acadêmicas, foram elas: *IEEE Xplore, ACM Digital Library, Google Scholar, ScienceDirect, Web of Knowledge, Springer*. As palavras-chave adotadas nas buscas foram as seguintes: Internet das Coisas **ou** Coisas Inteligentes **e** Arquitetura (todas em língua inglesa).

Para os trabalhos científicos, as ocorrências das palavras-chave foram verificadas tanto nos títulos e resumos quanto nas próprias palavras-chave dos trabalhos. Nos demais achados, as intuições e conhecimentos prévios dos pesquisadores foram balizadores para definir a relevância daquele achado. Diante do exposto a seção 5.2 reúne as arquiteturas de IoT em destaque (CAMPOS e CUGNASCA, 2013a).

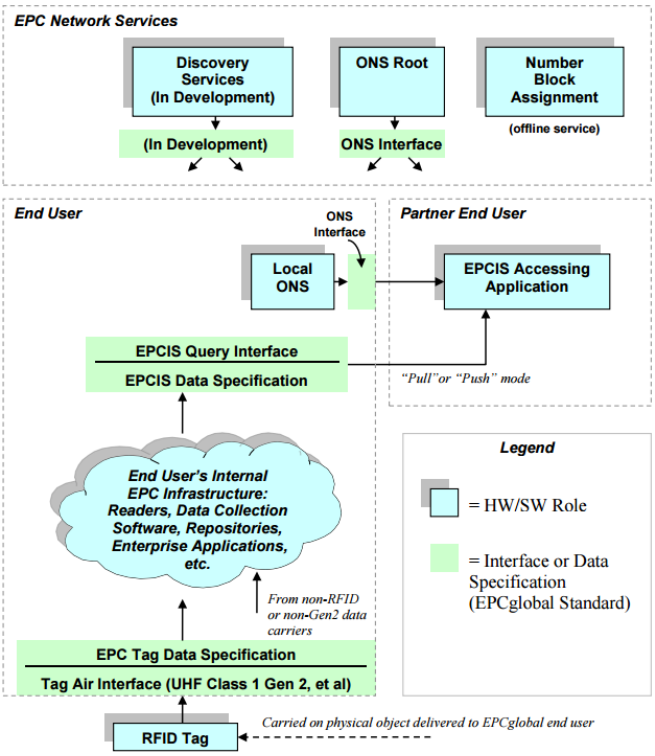
5.2 Resultados

Os achados são, em sua maioria, oriundos da academia, porém, uma gama significativa de arquiteturas propostas por organizações tem ganhado destaque. As subseções a seguir apresentarão os principais achados.

5.2.1 Arquitetura do Framework EPCglobal

A EPCglobal Inc é uma organização sem fins lucrativos que foi criada em 2003 pelo MIT Auto-ID Center, atualmente chamada Auto-ID Labs, em cooperação com outras universidades de pesquisa, para estabelecer a Rede EPCglobal® como o padrão global para a identificação automática e correta de qualquer item na cadeia de suprimentos. A EPCglobal Inc está estabelecendo padrões para comunicação entre *tags* e leitores RFID, bem como, destes para aplicações e entre aplicações. Esses padrões são especificados na Arquitetura do Framework EPCglobal, ou simplesmente, Rede EPCglobal®. A Figura 14 apresenta os módulos, softwares e interfaces definidas para a Rede EPCglobal®.

Figura 14 – Arquitetura da Rede EPCglobal



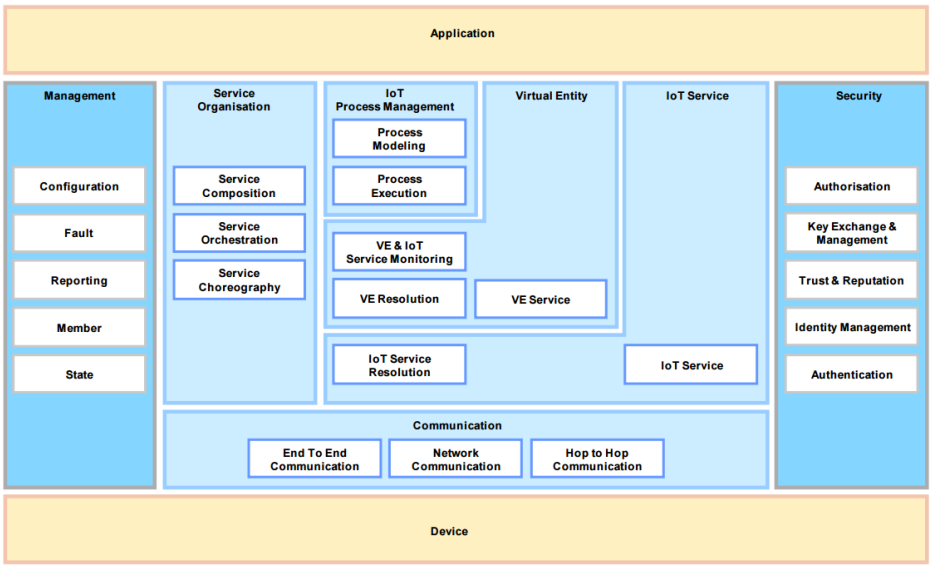
Fonte: GS1 System Architecture (2016)

Ela é uma coleção de hardwares inter-relacionados, softwares e padrões de dados. A Rede EPCglobal® é composta de cinco componentes principais: (i) Código Eletrônico do Produto, (ii) Sistema de Identificação, (iii) Middleware EPC, (iv) Serviços de Descoberta e (v) Serviço de Informação EPC. Para usar todos os componentes da Rede EPCglobal® um serviço executará seis atividades, são elas: (i) leitura do número EPC armazenado na tag, (ii) filtragem e tratamento do número EPC pelo Middleware EPC, (iii) busca de informações relacionadas ao produto pelo Serviço de Informação EPC nas bases de dados internas, (iv) autenticação na Rede EPCglobal®, (v) busca de informações relacionadas ao produto pelo Serviço de Nomeação de Objetos nas bases de dados externas e (vi) entrega dos resultados ao usuário ou aplicação que efetuou a requisição.

5.2.2 IoT-A ARM

A Arquitetura de Internet das Coisas (*Internet of Things Architecture – IoT-A*) é um projeto financiado pela União Europeia e realizado desde 2010. O Modelo de Referência Arquitetural (*Architectural Reference Model* – ARM) é desenvolvido atualmente pelos parceiros do projeto de pesquisa conhecido como *European FP7* (BASSI et al., 2013). Sua principal vantagem é proporcional à utilização da IoT-A ARM para gerar arquiteturas compatíveis com sistemas específicos. A Figura 15 apresenta uma visão geral da Arquitetura IoT-A ARM.

Figura 15 – Representação de alto nível da Arquitetura IoT-A ARM



Fonte: www.iot-a.eu

O projeto ARM tem duas ações: a primeira é a modelagem de domínio, o que resulta no Modelo de Referência para Internet das Coisas, e a segunda é a modelagem funcional, que visa quebrar a complexidade de um sistema compatível com a IoT-A ARM em partes menores e mais gerenciáveis, com a finalidade de compreender e ilustrar seus relacionamentos.

5.2.3 BRIDGE

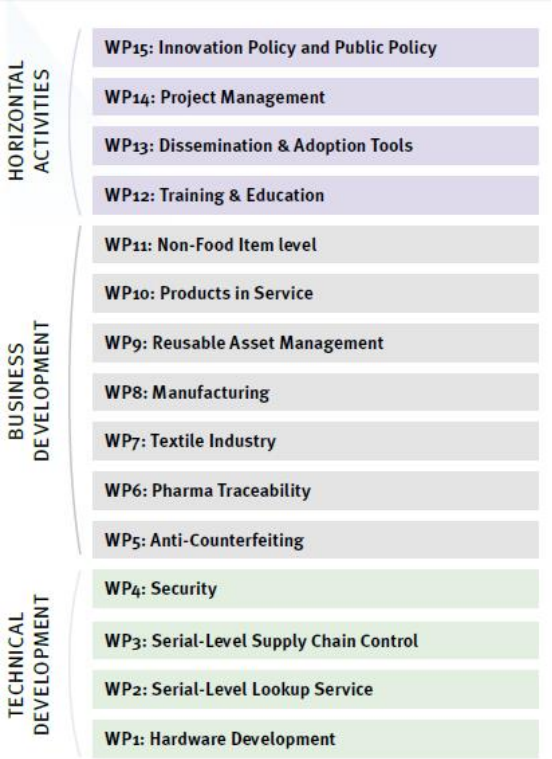
O BRIDGE[10] (*Building Radio-frequency IDentification for the Global Environment)* é um projeto financiado pela União Europeia composto por 31 parceiros que foi finalizado em agosto de 2009. Seu principal objetivo foi pesquisar, desenvolver e implementar ferramentas para habilitar o desenvolvimento de RFID na Europa baseado nos padrões da Rede EPCglobal.

De acordo com BRIDGE (2009) o projeto consistiu em uma série de atividades dividas em três grandes grupos: negócios, desenvolvimento técnico e horizontal, conforme Figura 16. Os pacotes de trabalho (*Work Packages* – WPs) especificados no grupo de negócios foram criados para identificar oportunidades, estabelecer casos de negócios, realizar estudos e implementações em diversos setores incluindo antifalsificação, farmacêutico, têxtil, fabricação, reuso de bens, produtos em uso e varejo de artigos não alimentares. O projeto incluiu também um importante programa de investigação e desenvolvimento em vários aspectos como hardware RFID, software, rede e segurança, bem como uma série de atividades horizontais desde formação e divulgação dos serviços, permitindo a adoção da tecnologia em larga escala na Europa.

BRIDGE implementa funcionalidades de rastreabilidade baseada na Arquitetura do Framework EPCglobal explorando as brechas existentes no projeto. Dessa forma, uma importante parte do BRIDGE é um modelo hierárquico em rede dos nós da cadeia de suprimentos (*Supply Chain Node Network Hierarchy Model*) que encapsula modelos da cadeia de suprimentos para capturar o fluxo físico dos objetos em termos de nós e conexão.

[10] http://www.bridge-project.eu/

Figura 16 – Pacotes de trabalho do projeto BRIDGE



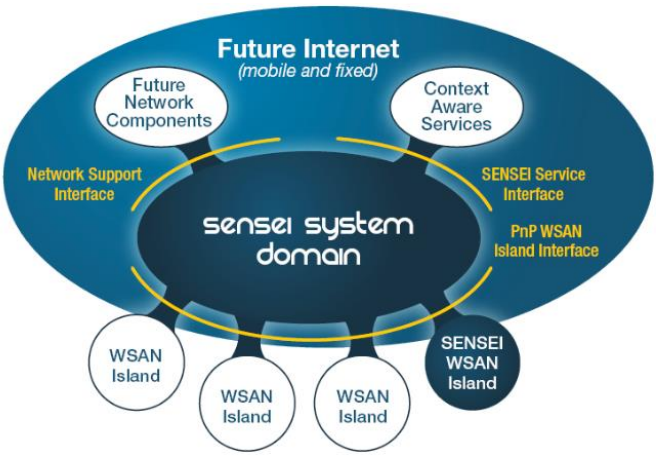
Fonte: Bridge (2009)

Outra característica bem explorada por BRIDGE é a segurança (WP4) por meio de políticas de acesso restritas que regulam os registros publicados, bem como as partes autorizadas a publicar no Serviço de Descoberta. Esse benefício previne espionagem coorporativa e roubo de uma coleção de informações comerciais sensíveis.

5.2.4 SENSEI

De acordo com Presser (2009) o consórcio SENSEI prevê a divisão de competências multidisciplinares entre 19 parceiros de 11 países europeus. SENSEI é um projeto integrado ao sétimo programa de framework (FP 7) em tecnologias de informação e comunicação (TIC), conforme Figura 17.

Figura 17 – Visão geral do arcabouço SENSEI



Fonte: Presser et al. (2009)

SENSEI visa criar uma arquitetura orientada a negócios aberta que integra redes de sensores e atuadores sem fio (*wireless sensor and actuator networks* – WSANs) heterogêneos em um quadro global que facilita a busca de serviços e aplicações por meio de interfaces universais. Um dos desafios do projeto é definir uma arquitetura que oferece escalabilidade para lidar com um grande número de WSANs distribuídos globalmente e interoperabilidade de dispositivos e plataformas heterogéneas.

5.2.5 Theseos

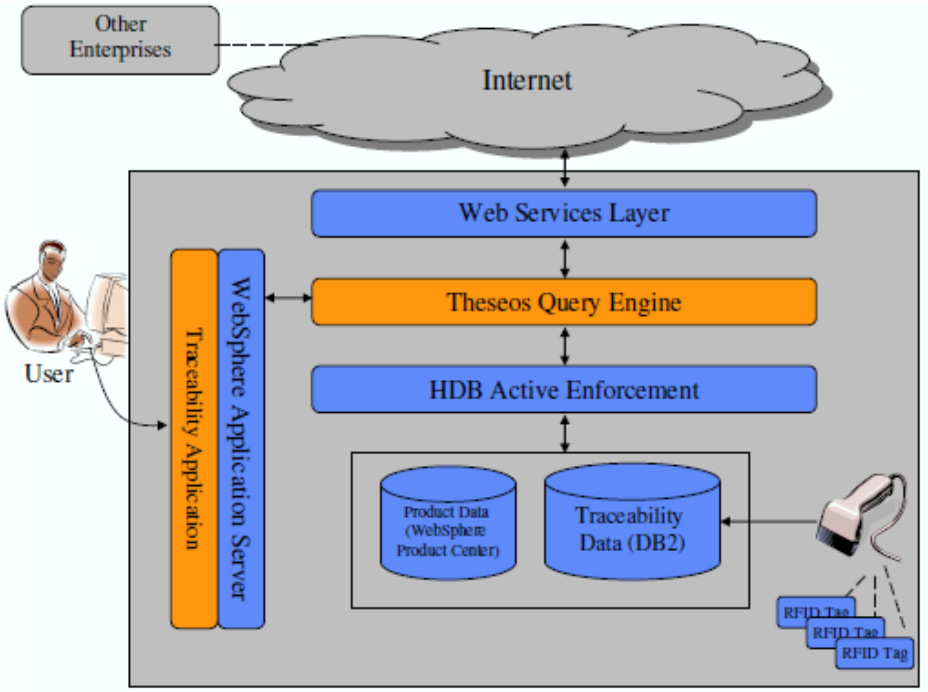
Theseos é um engenho de busca para rastreabilidade soberano e distribuído por meio de bases RFID desenvolvido por pesquisadores do Centro de Pesquisa Almaden da IBM[11]. A proposta do projeto é fornecer aplicações de rastreabilidade com a capacidade de executar consultas complexas de rastreabilidade que podem se estender por vários bancos de dados de RFID, conforme Figura 18 (CHEUNG et al., 2007).

Quando um aplicativo de rastreabilidade envia uma consulta para sua instância local Theseos, os seguintes passos são cumpridos: (i) a consulta é traduzida para uma consulta local que é executada no banco de dados local, (ii) aplicação da política de privacidade assegura que apenas dados inseridos na política de confidencialidade da organização sejam recuperados, (iii) baseado nos resultados obtidos localmente, a

[11] http://www.almaden.ibm.com/

consulta inicial é ainda analisada e, dependendo do resultado, reescrita e aumentada por resultados locais, (iv) a consulta reescrita é então enviada para outros bancos de dados de RIFD em rede e (v) os resultados obtidos na rede são adicionados aos resultados locais.

Figura 18 – O engenho de busca Theseos numa pilha de software de uma empresa qualquer



Fonte: Cheung et al. (2007)

Os tipos mais comuns de consultas que podem ser respondidas com Theseos são: consultas ditas *pedigree* que reconstroem a história completa de um objeto; consultas de *recall* que detectam a localização atual dos objetos; consultas que retornam informações sobre todos os componentes de um objeto. As duas últimas consultas confiam no fato de que as informações sobre embalagem, desembalagem e montagem de produtos são gravadas.

5.3 Considerações finais do capítulo

Este capítulo apresentou diferentes arquiteturas para o desenvolvimento de aplicações de rastreabilidade usando conceitos do paradigma IoT. Entretanto, um conjunto de aspectos ainda apresentam fragilidades na maioria das abordagens, são eles:

- **Incerteza:** suposição de que as tecnologias de captura de dados não a faça corretamente e/ou escopo de visibilidade dos parceiros (organizações/companhias) sobre os dados. Neste aspecto apenas BRIDGE fornece modelos de alto nível e algoritmos capazes de modelar a incerteza. Portanto, trata-se de um campo de pesquisa vasto.
- **Suporte para consultas de previsão:** capacidade de prever estados futuros de objetos a fim de dinamizar o planejamento, o controle e o escalonamento de recursos compartilhados. Parcialmente abordado em BRIDGE por meio do Algoritmo de Rastreamento inserido no modelo de Markov (HMM). Portanto, trata-se de mais um amplo campo para pesquisa.
- **Escalabilidade:** capacidade de suportar o aumento no volume de dados trocados entre os nós. Nas redes EPCglobal e BRIDGE o Serviço de Descoberta torna-se um gargalo devido ao formato associativo das suas arquiteturas.
- **Heterogeneidade:** Interoperabilidade entre diferentes dispositivos de diferentes organizações. Os padrões definidos nos Serviços de Informação EPC (EPCIS) da Rede EPCglobal é uma excelente abordagem para facilitar a troca de dados entre várias organizações e ambientes heterogêneos, porém, ainda é passível de melhorias.
- **Respostas oportunas:** Respostas em tempo real que reflitam as mudanças do mundo físico.
- **Segurança e privacidade:** Técnicas para lidar com o equilíbrio entre privacidade e compartilhamento de dados ainda são um desafio para pesquisas futuras.

Além destes aspectos, Campos e Cugnasca (2014) apresentam uma avaliação de quatro arquiteturas (EPCglobal, IoT-A ARM, BRIDGE e SENSEI) sobre sua adequação aos requisitos de qualidade especificados na norma ISO 25000 que trata dos atributos de qualidade, veja a avaliação no Quadro 1.

Quadro 1 – Avaliação dos atributos de qualidade

Qualidades Internas e Externas					
Característica	***Subcaracterística***	***Medida[12]*** ***High-Medium-Low***			
		1 [13]	***2 [13]***	***3[13]***	***4 [13]***
Functionality	*Suitability*	*M*	*H*	*L*	*H*
	Accuracy	*H*	*H*	*M*	*H*
	Interoperability	*H*	*H*	*M*	*H*
	Compliance	*M*	*H*	*M*	*M*
	Security	*H*	*H*	*H*	*H*
Reliability	*Maturity*	*M*	*L*	*L*	*L*
	Fault tolerance	*M*	*M*	*M*	*M*
	Recoverability	*M*	*M*	*M*	*M*
	Compliance	*M*	*M*	*M*	*M*
Usability	*Understandability*	*M*	*M*	*L*	*M*
	Learnability	*L*	*L*	*L*	*L*
	Operability	*M*	*L*	*L*	*L*
	Attractiveness	*L*	*L*	*L*	*L*
	Compliance	*L*	*L*	*L*	*L*
Efficiency	*Time behaviour*	*M*	*H*	*M*	*M*
	Resource utilization	*H*	*H*	*H*	*H*
	Compliance	*M*	*M*	*M*	*M*
Maintainability	*Analyzability*	*M*	*M*	*M*	*M*
	Changeability	*H*	*H*	*M*	*H*
	Stability	*H*	*H*	*L*	*L*
	Testability	*M*	*M*	*M*	*M*
	Compliance	*M*	*M*	*M*	*M*
Portability	*Adaptability*	*H*	*H*	*H*	*M*
	Installability	*L*	*L*	*L*	*L*
	Co-existence	*L*	*L*	*L*	*L*
	Replaceability	*L*	*L*	*L*	*L*
	Compliance	*L*	*L*	*L*	*L*

Fonte: Campos e Cugnasca (2014)

[12] Medida pode ser expressa em Alto (h), Médio (M) e Baixo (L) ou usando a escala do tipo ordinal na faixa de 1-9 (por exemplo: 1-3 = Baixo(L), 4-6 = Médio (M), 7-9 = Alto(H))
[13] 1 = EPCglobal, 2 = IoT-A ARM, 3 = BRIDGE, and 4 = SENSEI

Portanto, esse capítulo mostrou que considerar os atributos de qualidade caracteriza-se como uma fase importante do desenvolvimento de sistemas e que vários atributos de qualidade que não são considerados pelas principais Arquiteturas de IoT com a relevância desejada para a implementação de serviços satisfatórios.

6 MATERIAL E MÉTODOS

O objetivo desse capítulo é descrever como o trabalho foi executado, o material utilizado e o método empregado.

6.1 Material

A Tabela 2 detalha o material utilizado na parte experimental (Capítulo 9) desse trabalho.

Tabela 2 – Material usado nesta tese

Componente	Descrição	Ilustração
Rede de sensores ēKo da Crossbow	Infraestrutura para medições, contendo, um gateway, uma estação de rádio e nós para inserção dos sensores.	
Sensores para medição de potencial hídrico do solo	Sensor usado para a compreensão das relações hídricas nas plantas e entre estas e o meio exterior (solo e atmosfera).	
Sensores para medição da temperatura e umidade do solo	Sensor usado para controlar gastos com água e energia elétrica e na prevenção de doenças.	
Sensores para medição de radiação solar	Sensor usado para estudos das transformações da energia no sistema terra-planta-atmosfera, controle e otimização da evapotranspiração.	
Sensores para medição do molhamento foliar	Sensor usado para quantificação da duração do período de molhamento foliar.	

Sensor de temperatura e umidade do ar	Sensor usado em conjunto para controlar irrigação e na prevenção de doenças.	
Etiqueta RFID UHF 915 MHz	Etiquetas autoadesivas com encapsulamento usadas para identificação dos paletes, oferecendo proteção contra arranhões e outras formas de desgaste.	
Etiqueta RFID UHF 860-960 MHz	Etiquetas autoadesivas usadas para identificação das caixas de vinho	
Leitor RFID portátil com base na frequência UHF 900 MHz	Leitor RFID móvel com conexão por meio de Bluetooth ou cabo USB e fácil conexão com dispositivos móveis tais como smartphones, PDAs e laptops. Usado para a leitura das etiquetas dos paletes e das caixas.	

Fonte: Autor

6.2 Métodos

Os métodos utilizados para alcançar o objetivo do trabalho passaram, em linhas gerais, por uma ampla revisão da literatura, a obtenção de um modelo de rastreabilidade, a concepção de uma arquitetura candidata, o refinamento da arquitetura candidata e a utilização da versão amadurecida da arquitetura na implementação de aplicação em uma experimentação em campo. As etapas da Engenharia de Domínio, tais quais, análise, projeto e implementação foram utilizadas no desenvolvimento da aplicação devido à possibilidade de reusar experiências passadas de implementação.

A vitivinícola Santa Maria, localizada no Vale do São Francisco na cidade de Lagoa Grande-PE, foi contatada e ofereceu sua fazenda de produção de uva e vinho para acompanhamento de uma safra completa. A seguir são descritas as etapas do método em detalhes:

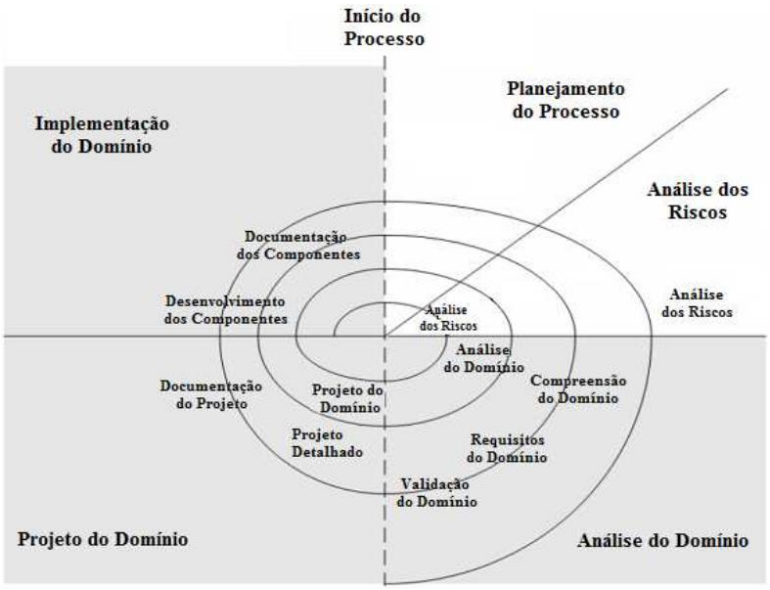
a) **Proposição de um modelo de rastreabilidade.** Primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o tema do trabalho e das tecnologias envolvidas, focando nas tecnologias base da IoT, especialmente, RFID e RSSF. Em seguida, foi realizada uma investigação dos processos de produção do vinho no Brasil e os padrões internacionais para rastreabilidade nesta área para a concepção do modelo de rastreabilidade.

b) **Análise do domínio.** Essa etapa consistiu no levantamento dos requisitos do sistema. Para isso, foi realizada uma visita de campo à vitivinícola Santa Maria com a finalidade de apresentar os objetivos do projeto, identificar os *stakeholders*, a disposição de sensores e do gateway no vinhedo, os custos necessários para sua implementação e as demandas de rastreabilidade dos consumidores.

c) **Projeto do domínio.** De posse dos requisitos, *stakeholders* e dos interesses e preocupações foram definidos os atributos de qualidade e a relevância de cada um deles. Dessa forma, ao fim desta etapa, foi obtida a arquitetura candidata. A partir da arquitetura candidata foi possível especificar o grupo de componentes que deu suporte a implementação das aplicações web e dos aplicativos para dispositivos móveis.

d) **Implementação do domínio.** As aplicações web e os aplicativos para dispositivos móveis foram desenvolvidos a partir da arquitetura candidata e seguiram o modelo espiral conforme Figura 19.

Figura 19 – Processo de Engenharia de Domínio empregado na implementação do domínio



Fonte: Autor

e) **Avaliação da arquitetura.** A penúltima etapa do projeto envolveu a apresentação dos resultados aos agentes da cadeia e parceiros participantes do projeto, visando obter realimentação com relação aos mesmos e oportunidades de melhoria. Nesse sentido, foram realizados os refinamentos na arquitetura e, consequentemente, nas aplicações desenvolvidas.

f) **Consolidação da arquitetura.** Por fim, após a realimentação dos agentes envolvidos na cadeia do vinho a arquitetura foi formalizada e os conhecimentos obtidos foram divulgados por meio de artigos científicos em periódicos e conferências.

7 MODELO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DO VINHO

Os modelos de rastreabilidade são importantes no contexto agroindustrial, sobretudo, na prevenção de problemas tais como: adulterações de produtos e insumos, identificação de falhas no processo produtivo, otimização de recursos naturais, monitoramento de variáveis ambientais, entre outros. No caso de produtos de alto valor agregado, como o vinho, estes modelos ajudam a assegurar sua qualidade (MINJIE et al., 2011). Esses modelos possibilitam assegurar a qualidade dos insumos e produtos finais, facilitando chamadas de retorno de produto defeituoso, evitando a mescla de produtos e reduzindo os impactos da localização e correção de falhas (JURAN E GODFREY, 1999).

Dessa forma, antes de discutir a arquitetura de IoT para rastreabilidade do vinho, foi elaborado um modelo de rastreabilidade de toda a cadeia de suprimentos do vinho com a finalidade de identificar variáveis, dados e informações contidas em cada etapa e elos dessa cadeia de suprimentos. Por se tratar de uma cadeia produtiva bastante diversificada, onde cada produtor de vinho pode assumir um processo próprio, esse trabalho buscou informações em diferentes fontes, conforme Figura 20.

Figura 20 – Fontes de informação para definição do modelo de rastreabilidade

Fonte: Autor

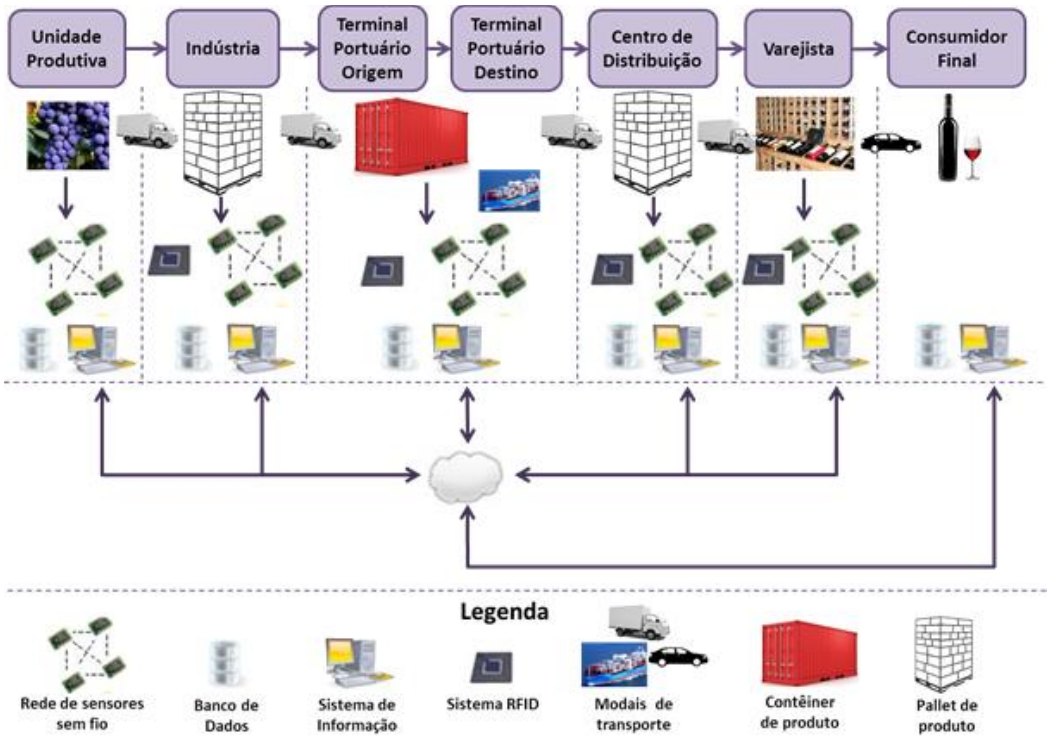
7.1 Fontes de Informação

As fontes de informação foram divididas em três grupos: **(i)** a Vitivinícola Santa Maria que se caracteriza como fonte primária de informação, **(ii)** os artigos acadêmicos e **(iii)** a associação multissetorial sem fins lucrativos, GS1, esses dois últimos, caracterizam-se como fontes secundárias de informação.

Na Vitivinícola, destaca-se o contato contínuo e prestativo do enólogo Ricardo Henriques que prontamente atendeu às solicitações e dúvidas referentes ao modelo. Em relação aos artigos acadêmicos destacam-se os modelos apresentados por Catarinucci et al. (2011), Cuiñas et al. (2014) e Expósito et al. (2013), bem como, os trabalhos desenvolvidos no LAA pelos pesquisadores Osvaldo Sobrinho, Roberto Fray da Silva e o próprio autor.

Em busca de prover um modelo de rastreabilidade voltado para a cadeia do vinho, o trabalho Silva, Campos e Cugnasca (2013) apresenta uma proposta integrando RFID e RSSF, conforme Figura 21.

Figura 21 – Proposta de um modelo de rastreabilidade da cadeia do vinho para exportação

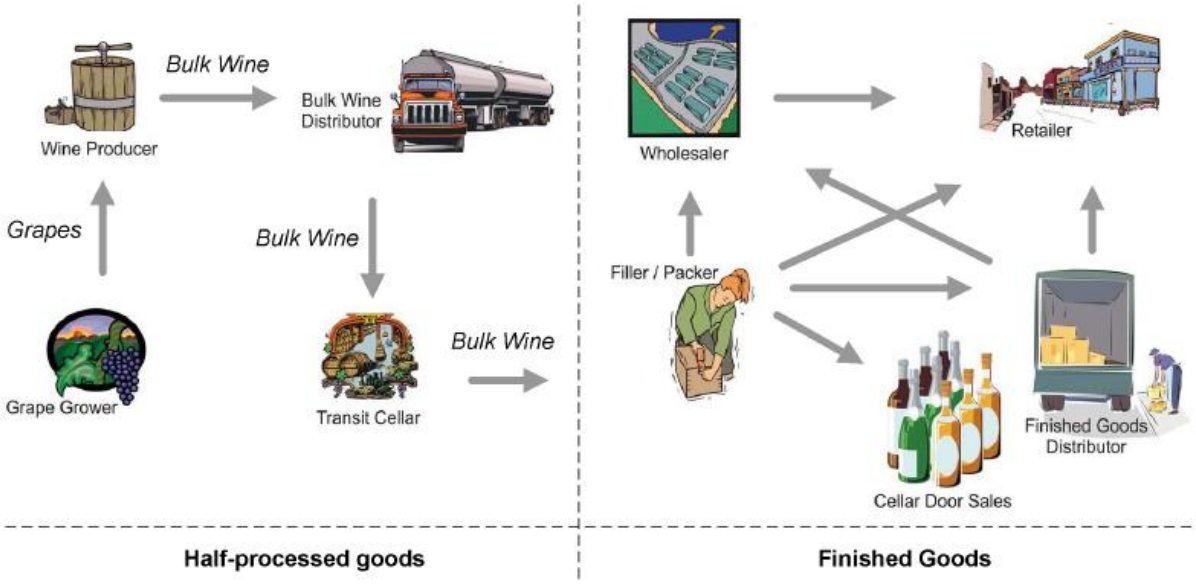


Fonte: Silva, Campos e Cugnasca et al. (2013)

O modelo é composto por sete etapas e engloba desde a produção das uvas até a entrega do vinho ao consumidor. As etapas se conectam, por meio da web, à nuvem computacional, onde as informações coletadas são armazenadas, e podem ser acessadas em tempo real pelos usuários e agentes da cadeia nas diferentes etapas de transformação da matéria-prima.

Por fim, entre os documentos sobre rastreabilidade consultados na GS1 destaca-se a formalização de um modelo de rastreabilidade da cadeia do vinho publicado em 2008, conforme Figura 22. A GS1 criou o Grupo de Trabalho (GT) de Rastreabilidade do Vinho, juntamente com representantes de empresas de comércio de vinhos internacionais da França, Alemanha, África do Sul, Reino Unido e Estados Unidos, além de parceiros da indústria na Argentina, Austrália, Chile, Nova Zelândia, Espanha e outras regiões vinícolas, com o objetivo de construir um modelo de rastreabilidade para a cadeia do vinho que tenha aplicabilidade global (GS1, 2008).

Figura 22 – Cadeia de suprimentos do vinho segundo o GT de rastreabilidade da GS1



Fonte: Cimino e Marcelloni (2012)

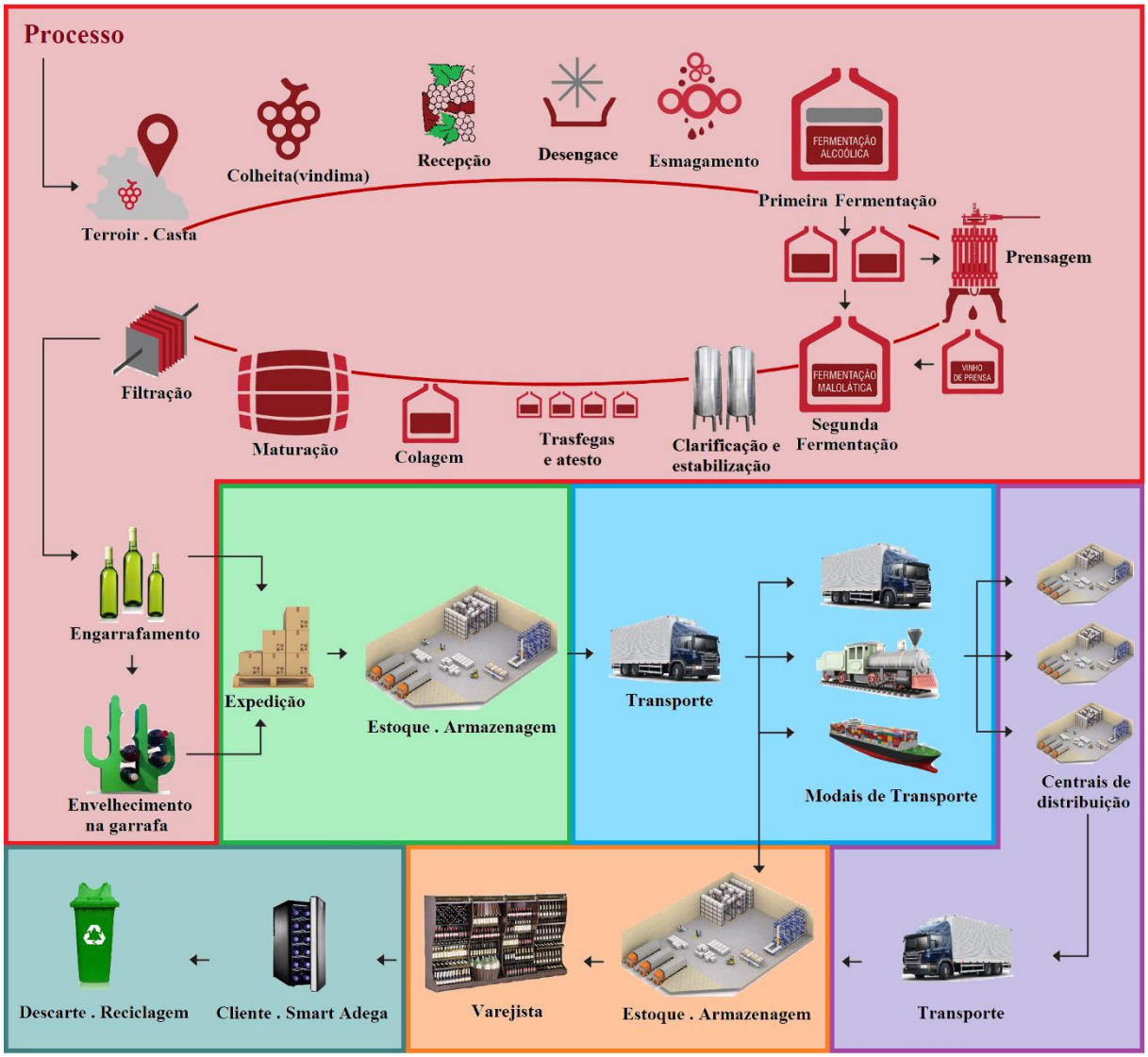
Na Figura 22 é possível identificar os diferentes atores da cadeia tanto no processamento do produto quanto na distribuição da mercadoria. Cada ator, portanto, é responsável por atividades específicas que devem permitir a rastreabilidade da cadeia de suprimentos. Diante do exposto, as seções a seguir apresentarão o modelo

de rastreabilidade adotado nesta tese para a concepção da arquitetura de rastreabilidade do vinho.

7.2 Modelo para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho

O modelo é composto por sete etapas principais: a plantação da uva, a indústria (nessa seção plantação e indústria estão agrupados na subseção 7.2.1 produção do vinho), o estoque, o transporte, a distribuição, o varejista e o cliente, conforme a visão geral da Figura 23.

Figura 23 – Visão geral do modelo de rastreabilidade para a cadeia do vinho



Fonte: Autor

A produção do vinho refere-se ao processo produtivo desde a colheita da uva até o engarrafamento do vinho. A etapa de estoque é responsável pelo armazenamento dos vinhos em caixas e paletes. Em seguida as caixas e paletes são transportadas até as centrais de distribuição (CDs). Por fim, das CDs o vinho é transportado aos varejistas que por sua vez comercializam o vinho com seus clientes. As subseções a seguir detalham as etapas e os dados de rastreabilidade necessários em cada etapa.

7.2.1 Produção do Vinho

A primeira etapa do modelo de rastreabilidade consiste na produção do vinho. A produção do vinho inicia-se pela produção e colheita das uvas. As principais atividades envolvidas na produção da uva são: plantio, cultivo e poda das videiras, adubação dos vinhedos, controle de pragas, colheita das uvas, etc. Dessa forma, o produtor deve registrar, para cada lote de uvas, entre outras informações, os detalhes sobre a localização, tipo e cuidado das vinhas, recorde de produção anual, a origem e o conteúdo químico de água usada para a limpeza e irrigação, etc (GS1, 2008).

Além disso, para cada produto de tratamento recebido dos fornecedores (defensivos, adubo, por exemplo), os produtores devem registrar informações do fornecedor, a descrição do produto recebido, bem como números de lotes. Por fim, referente à produção da uva, cada talhão do vinhedo deve ser identificado com um número de localização que é atribuído pelos viticultores.

Em seguida a uva é passada para a produção do vinho. Os produtores do vinho são responsáveis por receber as uvas, elaborar, fabricar e/ou misturar produtos vitivinícolas. Eles devem também registrar quais uvas e adega os sucos foram armazenados, além de manterem registros precisos para o grande número de procedimentos e operações realizadas na transformação do suco em vinho. O produtor de vinho é responsável por identificar cada ciclo de produção, com um número de lote. Além disso, os produtores devem registrar para cada recibo de aditivos de fornecedores, data de recebimento, descrição do produto recebido, bem como números de lotes.

Vários aspectos da cadeia do vinho serão diferentes dependendo do segmento do vinho produzido, como o número e a qualidade das vinhas utilizadas, o número e a qualidade dos fornecedores, a embalagem e rótulos do vinho, etc (ADAMO, 2004). Dependendo do tipo de vinho que vai ser elaborado, o processo é diferente.

Em geral, as principais atividades de elaboração de vinho são: recepção e pesagem das uvas, esmagamento, desengace, prensagem, além de sulfito e decantação, a adição de levedura, fermentação, refrigeração, clarificação, estabilização, controle de temperatura, armazenamento em tanques de aços inoxidáveis ou barris de carvalho, filtração, a preparação para o engarrafamento, maturação em garrafa, etc. Conforme Figura 23, as etapas do processo de produção do vinho consideradas nesse estudo são:

a) **Plantação.** Nessa etapa é importante identificar a coordenada geográfica do *terroir*[14] e as condições ambientais às quais estarão submetidas as castas de uva, tais como: temperatura e umidade do ambiente, temperatura e umidade do solo, índice de radiação solar, molhamento foliar e o potencial hídrico do solo.
b) **Colheita.** As uvas devem estar plenamente maduras, os cachos são cortados com tesoura e são acondicionados em caixas contendo até 15 kg e transportados em caminhões até a adega. A maturidade é testada pela verificação do grau de açúcar, usando-se um mostímetro previamente à colheita. Convém, portanto, identificar em cada talhão da produção, os funcionários que manipularam a plantação, os defensivos agrícolas aplicados, o período em que deve ser feita a prova da uva, a avaliação do enólogo responsável pela prova e as condições climáticas as quais as caixas foram transportadas e o tempo gasto nesse processo.
c) **Recepção, classificação e pesagem.** Na adega as uvas são pesadas e classificadas tendo como parâmetros espécie, grau glucométrico médio e nível de maturação. Uvas destinadas a vinhos de melhor qualidade podem passar por um processo de inspeção visual, com a retirada manual de cachos que não

[14] Refere-se a um espaço no qual está se desenvolvendo um conhecimento coletivo das interações entre o ambiente físico e biológico identificáveis e as práticas enológicas aplicadas, que proporcionam características distintas aos produtos originários deste espaço (OIV, 2010).

atendam aos requisitos de qualidade. Faz-se necessário a identificação dos talhões que produziram as uvas de melhor qualidade.

d) **Desengace e Esmagamento.** Esse processo consiste na retirada das uvas dos cachos (engaços). Inicialmente as uvas são selecionadas para a elaboração de vinho branco e vinho rosado (se houver) onde têm como primeiro destino a prensa que pressiona as uvas para que as cascas se rompam, separando-as do mosto. Esta prensagem é feita com cuidado para que não seja esmagada a semente da uva, o que liberaria taninos em excesso, trazendo forte adstringência ao sabor do vinho e exigindo maior tempo de maturação para seu consumo. Aqui os dados necessários para rastreabilidade caracterizam-se na identificação do funcionário responsável pelo desengace, máquina utilizada e avaliação da qualidade do desengace.

e) **Primeira fermentação.** Nesta etapa, é realizada a fermentação alcoólica. O mosto é bombeado para tanques de grande capacidade com as cascas no caso do vinho tinto, no caso do vinho branco as cascas não fazem parte, enquanto que para o vinho rosado as cascas permanecem por pouco tempo. Nos tanques é feita a adição de dióxido de enxofre, SO_2, num processo denominado sulfitação, cuja finalidade é inibir a atuação de bactérias e fungos que agem na fase prefermentativa, atuar como antioxidante e dissolvente do corante contido nas cascas (vinho tinto). Nesta reação, o açúcar das uvas, através da ação das leveduras, transforma-se em álcool etílico e gás carbônico, gerando grande quantidade de calor. As leveduras estão contidas na própria uva podendo-se, ou, adicionar leveduras especialmente selecionadas para a fermentação. Como a quantidade de açúcar é de primordial importância, em certos países, como Brasil e França, a legislação permite a realização de um processo denominado chaptalização, que consiste na adição de açúcar ao mosto. A fermentação dura de três a dez dias e a temperatura é mantida entre 24ºC e 29ºC, no caso de vinhos tintos, ou 12ºC e 16ºC no caso dos brancos. A temperatura exata varia conforme o produtor e o tipo de vinho. Aqui o controle da temperatura e umidade relativa do ar são imprescindíveis, bem como a identificação dos tanques utilizados para a fermentação.

f) **Prensagem.** Finalizada a primeira fermentação, ou fermentação tumultuosa, o vinho é separado do bagaço e é transferido para outros tanques onde ocorrerá a segunda fermentação, ou fermentação lenta. Este vinho é o chamado vinho-

flor, de melhor qualidade. O bagaço poderá ser prensado, extraindo-se deste processo o chamado vinho de prensa, de qualidade inferior, podendo ser destinado à destilação. O conteúdo do bagaço, destilado após uma segunda prensagem, permitirá a obtenção da *grappa*, bebida de alto teor alcoólico apreciada no mercado.

g) **Segunda fermentação.** Esta fase dura de dez a trinta dias. Nela, ocorre uma fermentação secundária, denominada malolática, através da ação de bactérias. A temperatura deve ser mantida entre 18ºC e 20ºC. Este processo, que modera a acidez do vinho, é desejável em vinhos tintos e brancos de guarda, não sendo recomendada em vinhos tintos jovens ou brancos frutados. Alguns países importadores exigem a passagem por esta fase por proporcionar a estabilidade biológica do produto. Ao final, é realizada a trasfega, ou seja, o transporte para outro tanque, de maneira a eliminar-se a borra gerada. Assim como ocorreu na primeira fermentação novamente faz-se necessário o controle da temperatura e umidade relativa do ar, bem como a identificação dos tanques utilizados para a fermentação. Além disso, o registro da(s) bactéria(s) utilizada(s) no processo de fermentação.

h) **Clarificação e estabilização.** Terminada a fermentação lenta, o vinho é bombeado para grandes tanques, onde permanece por um período de cerca de seis meses, o que permite a estabilização do conteúdo e o depósito de resíduos sólidos. Para facilitar este depósito, são empregadas substâncias denominadas clarificantes ou colas que agregam os materiais suspensos levando-os ao fundo do tanque. Estas substâncias podem ser de origem animal ou mineral. Em escala industrial, usualmente se utiliza o *bentonite*. Para controle da rastreabilidade é importante guardar a identificação dos tanques, a temperatura e a umidade do ar e os clarificantes utilizados.

i) **Trasfegas e atestos.** Trasfegas consistem no transporte do vinho entre tanques, com o objetivo de eliminar do vinho todos os depósitos gerados nos processos de fermentação. São empregadas algumas trasfegas para a obtenção deste resultado. Ao encher-se um tanque, nenhum espaço livre pode permanecer em seu interior, pois o oxigênio ali contido viria a oxidar o produto. Desta forma, é necessário preencher totalmente os tanques com pequenos volumes de vinho. A este processo denominasse atesto.

j) **Colagem.** Consiste na mistura do conteúdo dos diversos tanques da cantina, segundo proporções determinadas pelo enólogo responsável, que utiliza nesta operação, basicamente, seus sentidos. O objetivo é a geração de produtos de boa qualidade, uniformes, que mantenham uma linha de continuidade em relação aos mesmos produtos de anos anteriores, e que não gerem sobras não aproveitadas.

k) **Maturação.** Corresponde ao envelhecimento em tonéis de madeira de pequena capacidade, usualmente em torno de 225 litros. Empregam-se o carvalho francês ou americano na construção dos barris. Esta fase contribui para o desenvolvimento das propriedades organolépticas do vinho e sua aplicação, restringe-se, normalmente, aos produtos de melhor qualidade. Dura de seis meses a dois anos.

l) **Filtração.** Permite a clarificação final dos vinhos e é efetuada de forma mecânica. Empregam-se membranas filtrantes de fibras vegetais (celulose ou acetato de celulose).

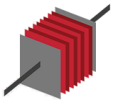
m) **Engarrafamento e rotulagem.** No processo de engarrafamento é desejável a ausência de contato com o ar para efeitos de esterilidade e ausência de oxidação. Processos envolvendo a utilização de nitrogênio já são empregados por algumas vinícolas brasileiras. A utilização de rolhas de cortiça é tradicional.

n) **Envelhecimento na garrafa.** Corresponde ao envelhecimento em garrafas, usualmente em torno de 750 ml. Essa fase é realizada com as garrafas de vinho posicionadas horizontalmente para manter a rolha úmida. É recomendável que o envelhecimento do vinho na garrafa ocorra em local com pouca incidência de luz, umidade moderada e temperatura constante.

Diante do exposto, o Quadro 2 sumariza os dados do processo de produção do vinho e os dados de rastreabilidade associados a cada etapa.

Quadro 2 – Dados de rastreabilidade da etapa produção do vinho

Etapa 1: Produção do Vinho		
Ilustração	**Processo**	**Dados de rastreabilidade**
	Terroir	• Localização • Temperatura do ar • Umidade relativa do ar • Radiação solar • Potencial hídrico do solo • Radiação solar • Temperatura do solo • Umidade do solo

	Colheita	• ID do talhão • Defensivos agrícolas • ID dos trabalhadores • Período de prova da uva	• Avaliação da prova da uva • Tempo gasto na colheita • Condições climáticas da colheita
	Recepção, classificação e pesagem	• ID do talhão	
	Desengace e Esmagamento	• Funcionário • Maquinário utilizado • Avaliação	
	1ª Fermentação	• ID dos tanques • Temperatura do ar • Umidade relativa do ar	
	Prensagem	• Temperatura do ar • Umidade relativa do ar	
	2ª Fermentação	• ID dos tanques • Temperatura do ar	• Umidade relativa do ar • Bactéria utilizada
	Clarificação e estabilização	• ID dos tanques • Temperatura do ar	• Umidade relativa do ar • Clarificantes utilizados
	Trasfegas e atestos	• ID dos tanques	
	Colagem	• ID dos tanques	
	Maturação	• ID do tonel • Temperatura do ar	• Umidade relativa do ar • Radiação solar
	Filtração	• Membrana filtrante	
	Engarrafamento	• Rolha utilizada • Garrafa utilizada	
	Envelhecimento na garrafa	• Radiação solar • Temperatura do ar • Umidade relativa do ar	

Fonte: Autor

7.2.2 Armazenamento

Essa etapa corresponde ao armazenamento do produto até sua distribuição. As garrafas de vinho são recebidas, embaladas, acondicionadas em caixas, armazenadas em paletes e expedidas (identificadas com um número de lote) para o distribuidor final dos produtos. Dessa forma, o número do lote deve ser relacionado/ligado aos lotes de vinho a granel utilizados para encher as garrafas, o importante é manter a relação entre o vinho a granel e o produto acabado, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Dados de rastreabilidade da etapa armazenamento

Etapa 2: Armazenamento		
Ilustração	**Processo**	**Dados de rastreabilidade**
	Expedição	• Número do lote • ID do palete • ID das caixas vinculadas ao palete
	Estoque e Armazenagem	• Localização indoor • Destinatário

Fonte: Autor

Por fim, para garantir o rastreamento a nível mundial é necessário registrar o número do lote dos itens enviados (em padrão mundial) e vinculá-los a localização do destinatário.

7.2.3 Transporte

O ator denominado transporte ou transportador é responsável pela recepção e expedição do vinho. Este ator recebe o vinho em paletes e encaminha às centrais de distribuição em diferentes modais de transporte (rodoviário, ferroviário, duto viário ou hidroviário). Cada um destes paletes, portanto, deve ser identificado com um código apropriado, ou seja, um número único, e com a quantidade associada de vinho (litros). A fim de manter a rastreabilidade precisa ao longo da cadeia, é necessário gravar os números dos lotes assim como ocorre com o identificador de cada item despachado, conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Dados de rastreabilidade da etapa transporte

Etapa 3: Transporte		
Ilustração	**Processo**	**Dados de rastreabilidade**
	Transporte	• Localização (coordenada GPS) • ID do transporte • Temperatura do ar • Umidade do ar
   	Modais de transporte	• Tipo do modal • Destinatário • Localização (coordenada GPS) • ID do transporte • Temperatura do ar • Umidade do ar

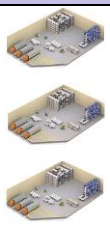
Fonte: Autor

Para garantir o rastreamento, é necessário registar os identificadores globais dos produtos enviados e relacioná-los ao receptor. Em seguida, o ator envia os lotes de vinho a granel para o próximo ator, o distribuidor.

7.2.4 Distribuição

O distribuidor dos produtos é responsável pela recepção, armazenagem, gestão de estoque e expedição de produtos finais. O distribuidor dos produtos recebe os paletes e caixas do transporte e despacha as mercadorias para os varejistas. Os números do *container e* do palete são gravados na entrada e vinculados ao número de localização do fornecedor. Os varejistas, portanto, devem manter um registro do número do *container*, os números dos paletes e os números das caixas que recebem, conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Dados de rastreabilidade da etapa distribuição

Etapa 4: Distribuição		
Ilustração	**Processo**	**Dados de rastreabilidade**
	Centrais de Distribuição	• Localização indoor • ID do destinatário • ID do emissário • ID do palete • ID do *container*
	Transporte	• Localização do *container* (coordenada GPS) • ID do transporte • Temperatura do ar • Umidade do ar

Fonte: Autor

Caso o varejista atribua um número proprietário ao produto esta informação deve ser atualizada para os demais atores da cadeia.

7.2.5 Varejista

A penúltima etapa desse modelo é o varejista. Ele recebe os paletes e caixas do distribuidor e os comercializa com os consumidores. Cada garrafa é identificada com um número, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Dados de rastreabilidade da etapa varejista

Etapa 5: Varejista		
Ilustração	**Processo**	**Dados de rastreabilidade**
	Estoque e Armazenagem	• Localização indoor • ID do destinatário • ID do emissário • ID do palete
	Varejista	• Localização indoor • Temperatura do ar

Fonte: Autor

Da mesma forma que ocorreu no ator anterior, o rastreamento é garantido caso o exista a vinculação dos números dos paletes ao número de localização do destinatário.

7.2.6 Consumidor

Por fim, o consumidor é a última etapa do modelo. Trata-se do responsável por acondicionar corretamente a garrafa de vinho e descarta-la corretamente, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Dados de rastreabilidade da etapa consumidor

Etapa 6: Consumidor		
Ilustração	**Processo**	**Dados de rastreabilidade**
	Adega Inteligente	• ID do varejista • Temperatura do ar
	Descarte / Reciclagem	• ID da garrafa • ID da recicladora urbana

Fonte: Autor

Dessa forma, será conveniente que o consumidor possua meios de monitorar a temperatura do ambiente e informar as condições do descarte.

7.3 Considerações finais do capítulo

O modelo de rastreabilidade da cadeia do vinho apresentado nesse capítulo descreveu as etapas do processo produtivo em detalhes e destacou os dados de rastreabilidade presentes em cada etapa. Diante da diversidade dos processos produtivos do vinho, houve uma adaptação dos modelos de rastreabilidade para a vitivinícola Santa Maria. Esse modelo permitiu uma ampla compreensão sobre o funcionamento da cadeia de suprimentos do vinho e de suas etapas, subsidiando a concepção da arquitetura de rastreabilidade apresentada no Capítulo 8.

8 UMA ARQUITETURA PARA RASTREABILIDADE DO VINHO BASEADA EM IoT

A aplicação de tecnologias base da IoT em vinhedos é algo recente e advém dos avanços tecnológicos, sobretudo, com foco na viticultura de precisão, tais quais: instrumentação remota e terrestre, RSSF, RFID, atuadores, etc. O principal objetivo dessas tecnologias na viticultura de precisão é maximizar o rendimento e a qualidade da uva, minimizando impactos e riscos ambientais (BARBOSA et al., 2017).

Entretanto, o paradigma IoT prevê um salto ainda maior de conectividade e comunicação de todo processo produtivo do vinho tanto entre os agentes da cadeia de suprimentos quanto com o cliente final. Dessa forma, esse capítulo apresenta uma arquitetura para rastreabilidade do vinho baseada no paradigma IoT, seus princípios, *stakeholders*, atributos de qualidade, cenários e componentes.

8.1 Conceitos

A concepção de uma arquitetura para rastreabilidade do vinho baseada no paradigma IoT pressupõe discutir e unificar conceitos básicos, são eles:

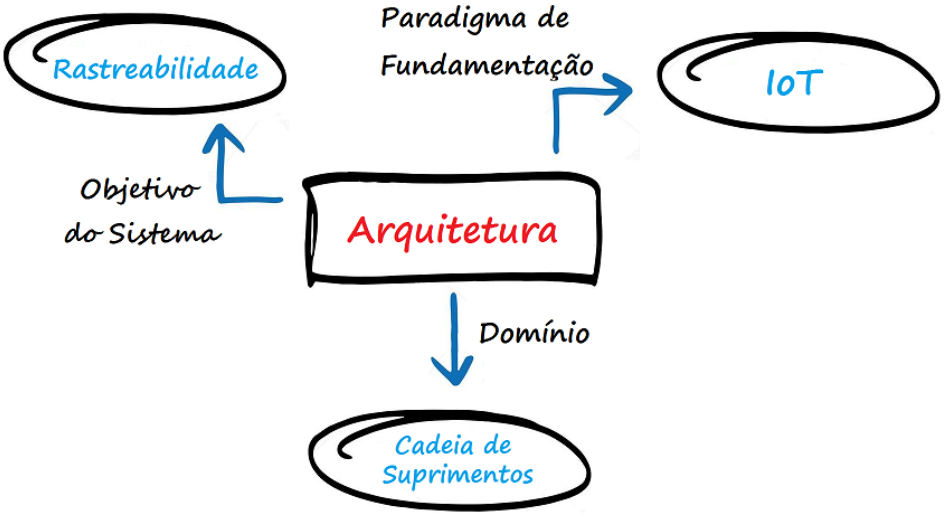
- Arquitetura: conceitos fundamentais ou propriedades de um sistema incorporado em seus elementos, relacionamentos e princípios que conduzem seus design e evolução (ISO, 2011). Nesse sentido, o objetivo de uma arquitetura é definir seus elementos e sua organização a fim de satisfazer objetivos e restrições específicas.
- Rastreabilidade: processo de descrever a história, aplicação, eventos e localização de um produto a uma determinada organização (ISO, 1994). Portanto, a arquitetura descrita nesta tese está focada em prover informações sobre o processo produtivo do vinho, desde informações dos insumos, matéria-prima, produto final, transporte, centrais de distribuição e varejista até o consumidor final e o descarte do produto.
- Cadeia de suprimentos: uma rede de organizações conectadas e interdependentes que atua em conjunto e de forma conjunta para controlar, gerenciar e melhorar o fluxo de materiais e informações de fornecedores para usuários finais (CHRISTOPHER, 2016). Assim, o foco do gerenciamento da cadeia de suprimentos considerado nesta tese é sobre a gestão de

relacionamentos, a fim de alcançar um resultado mais lucrativo para todas as partes da cadeia (agentes da cadeia).

- Internet das Coisas: a infraestrutura de rede global dinâmica, com capacidades de autoconfiguração baseada em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis onde “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes, e são perfeitamente integradas por meio da rede de informação (VERMESAN et al., 2011). Acredita-se que essa definição é abrangente o suficiente para contemplar as diferentes definições e conceitos desse paradigma em efervescência mundialmente.

Dessa forma, a Figura 24 sumariza os principais conceitos (Arquitetura, Rastreabilidade, Cadeia de Suprimentos e Internet das Coisas) abordados nesta tese.

Figura 24 – Principais conceitos abordados na arquitetura



Fonte: Autor

Em resumo, a arquitetura descrita nesta tese está fundamentada pelo paradigma IoT e tem como objetivo orientar o desenvolvimento de sistemas com foco na rastreabilidade no domínio da cadeia de suprimentos do vinho. Portanto, caso um desenvolvedor queira usar a arquitetura fruto desta tese em um contexto que não contemple a rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho e o paradigma IoT, sua implementação passará por adaptações que podem influenciar diretamente no desempenho do sistema gerado.

8.2 Os Fundamentos

Além de unificar conceitos, a arquitetura apresentada nesse trabalho também está baseada em um conjunto de fundamentos. Eles constituem princípios pelos quais a arquitetura foi gerada, são eles: F1. Conectividade e Acessibilidade, F2. Segurança e Privacidade, F3. Redes sociais, F4. Adaptatividade e F5. Atributos de qualidade.

F1. Conectividade e Acessibilidade. O paradigma IoT prevê a conexão e comunicação de tudo, com todos e a qualquer momento. Ou seja, cada agente da cadeia de suprimentos, deve fornecer informações sobre o processo produtivo do vinho a outro agente, de forma segura e somente a serviços autorizados. Mas quais dados serão fornecidos aos demais agentes da cadeia? Aqueles autorizados pela origem, que forem úteis ao destino e que não revelem estratégias de mercado do agente da cadeia.

A Conectividade e Acessibilidade formam um fundamento que evidencia a razão de existir da IoT, entretanto, sabe-se que a cadeia de suprimentos do vinho é formada por agentes com valores e conceitos tradicionais, sobretudo, aqueles que fazem parte da produção do vinho e terão maior dificilmente em compartilhar dados de sua produção. O fundamento discutido aqui se refere a dados que são importantes para os demais agentes da cadeia e que terão a permissão de acesso dada pelo agente de origem da informação.

Superada essa barreira, é preciso superar ainda os desafios que envolvem essa alta conectividade entre os agentes da cadeia que são: o grande volume de dados gerados e compartilhados (*Big Data*), o suporte do sistema à escalabilidade, a gestão dos dispositivos (novos ou atuais), a segurança e a privacidade dos dados e informações. Dessa forma, diante da robustez e preocupações que a Comunicação e Acessibilidade ensejam é que eles formam um fundamento da arquitetura e possuirão componentes e tratamentos específicos.

F2. Segurança e Privacidade. Um dos principais desafios que devem ser superados para impulsionar a IoT no mundo real (ROMAN et al., 2013). Entre todos os atributos de qualidade considerados nos fundamentos da arquitetura (ver *P5. Qualidade*), a segurança com a aquisição, transmissão e processamento das

informações é aquele que merece destaque e condição de fundamento da arquitetura. Haja vista as numerosas possibilidades de ameaças que podem afetar o sistema, além das múltiplas trocas de informações entre hardwares e sistemas heterogêneos localizados em diferentes contextos.

Somada à segurança está a privacidade. Todo e qualquer usuário e dispositivo deve ter mecanismos que possibilitem manter-se no anonimato e o direito ao esquecimento. A vinícola e demais agentes da cadeia de suprimentos precisam de garantias de que o sistema implementado a partir da arquitetura não está espionando (sem conhecimento das partes) dados privados. Dessa forma, a arquitetura contempla módulos específicos para suprir as demandas por segurança e privacidade observando a legislação vigente.

F3. Redes sociais. Esse fundamento consiste em objetos inteligentes que se conectam à rede para levar o mundo real à dimensão virtual. Ou seja, objetos capazes de se comunicar em sites de redes sociais podem entrar no loop social de seus proprietários, de modo a publicar automaticamente informações de interesse para comunidades de pessoas selecionadas e a realizar algumas ações automáticas relacionadas (ATZORI et al., 2014).

Nesse sentido e em consonância com Atzori et al. (2014) os objetos não só podem ser parte das redes sociais humanas, mas também podem construir sua própria rede social. Como consequência, as interações entre eles podem ser promovidas para o desenvolvimento de serviços complexos para o benefício direto das pessoas. Consequentemente, os objetos imitam o comportamento humano para uma descoberta e composição de serviços escaláveis e eficazes, bem como gerenciamento de confiabilidade.

F4. Adaptatividade. Refere-se a capacidade que tem um sistema de, sem a interferência de qualquer agente externo, tomar a decisão de modificar seu próprio comportamento, em resposta ao seu histórico de operação e aos dados de entrada (NETO, 2007). Entende-se que a experiência anterior adquirida por um sistema ou dispositivo adaptativo é decisiva quanto ao tipo de alteração comportamental resultante do exercício da adaptatividade.

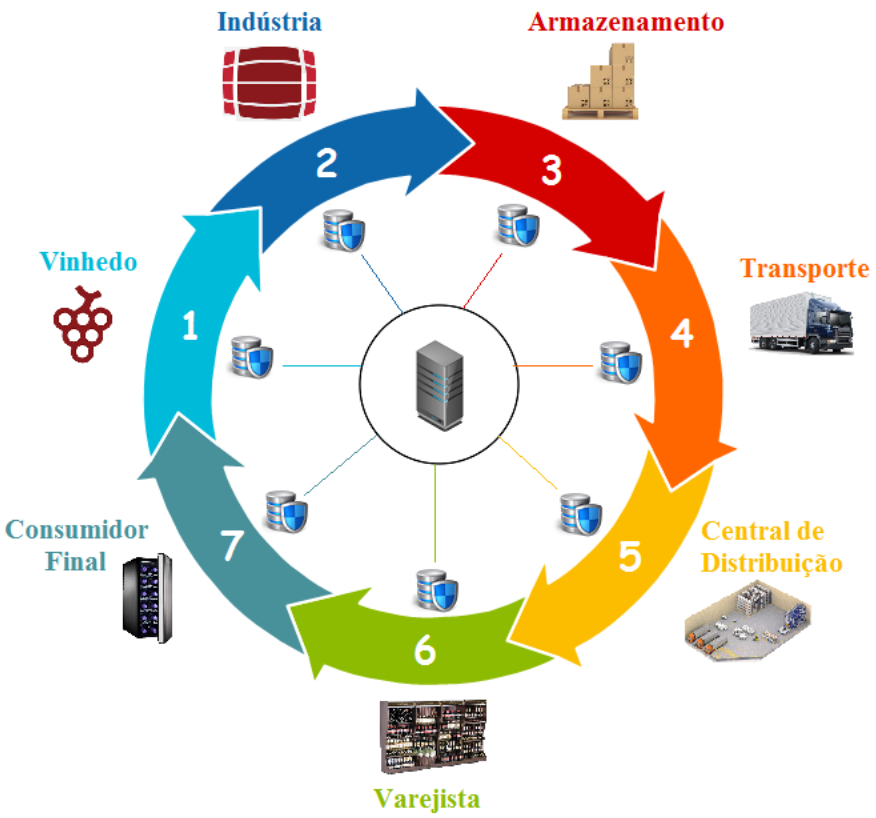
F5. Atributos de qualidade. Por fim, a arquitetura considera os atributos de qualidade como um fundamento ortogonal, ou seja, que está presente em todas as suas camadas. Por meio dos atributos de qualidade é possível minimizar os erros de projeto do sistema e garantir a implementação de uma solução que atenda aos requisitos. Para tanto, os atributos de qualidade recebem uma atenção especial da arquitetura e estará presente em vários módulos da arquitetura.

8.3 Definição do domínio

8.3.1 Escopo e contexto

O objetivo dessa etapa é definir os limites do sistema, seu comportamento e responsabilidade. Basicamente, é esperado desse passo que o arquiteto de software compreenda os objetivos organizacionais e estratégicos da organização. Dessa forma, na cadeia de suprimentos do vinho foi possível inferir um agrupamento de domínios conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 – Modelo do processo de negócio da cadeia de suprimentos do vinho



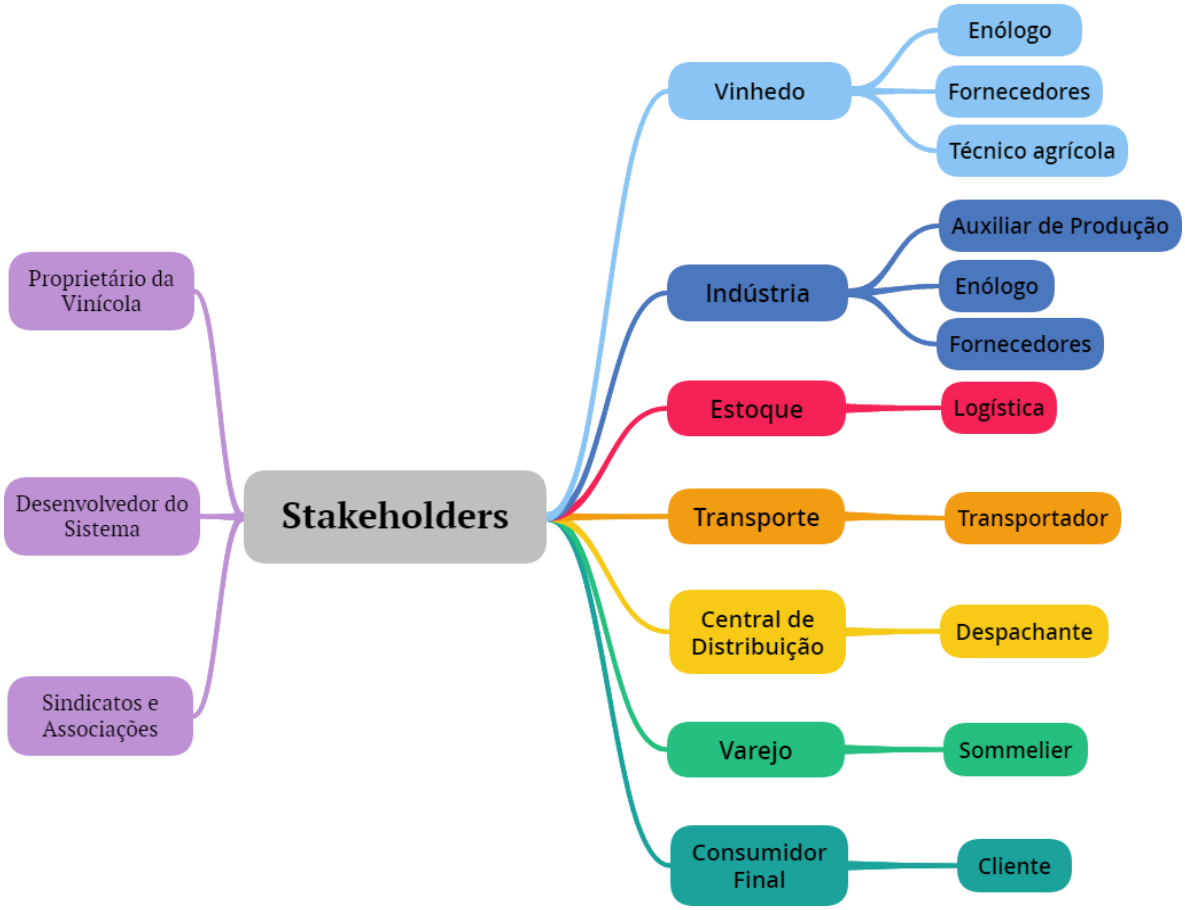
Fonte: Autor

Nos sete domínios apresentados (vinhedo, indústria, armazenamento, transporte, central de distribuição, varejista e consumidor final), deve-se destacar o processo de negócio onde todos os agentes são capazes de atualizar dados da produção, armazenamento, distribuição e venda do produto em suas bases de dados próprias. Entretanto, essas bases de dados estão interligadas por meio da Internet de forma segura possibilitando aos agentes consultar dados de rastreabilidade do produto.

8.3.2 *Stakeholders*

Nessa etapa o objetivo é identificar as pessoas chave que tem algum interesse ou que podem ser afetadas pelo sistema. As preocupações dos *stakeholders* são as mais variadas, desde o tempo de execução de uma solicitação até o retorno pelo investimento para a implantação do sistema. Nesse cenário, os *stakeholders* identificados na cadeia de suprimentos do vinho são apresentados na Figura 26.

Figura 26 – *Stakeholders* do sistema de rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho



Fonte: Autor

Os *stakeholders* foram divididos em duas categorias. A primeira, mais à esquerda da Figura 26, apresenta àqueles com preocupações em todos os domínios da cadeia de suprimentos, são eles: proprietário da vinícola, desenvolvedor do sistema e os sindicatos e associações. Os demais *stakeholders*, à direita da Figura 26, estão apresentados vinculados aos seus respectivos domínios da cadeia de suprimentos, são eles: enólogo, fornecedores, técnico agrícola, auxiliar de produção, logística, transportador, despachante, *sommelier* e cliente. Na seção a seguir serão apresentados os interesses e preocupações de cada *stakeholder* sobre o sistema.

8.3.3 Interesses e Preocupações

O objetivo dessa seção é identificar e compreender claramente as preocupações que cada *stakeholder* tem sobre o sistema. Dessa forma, conforme Tabela 3 a sumarização das preocupações dos *stakeholders* envolvidos.

Tabela 3 – Relação de *stakeholders*, seus interesses e preocupações

Domínio	*Stakeholder*	Interesses	Preocupações
Vinhedo	Enólogo	Produzir vinhos de boa qualidade e que sejam apreciados, reconhecidos e premiados.	• Qualidade e variedade de uvas produzidas • Análise das condições e preparo do solo • Alerta para prova da uva
	Fornecedores	Elevação das vendas e satisfação do produtor	• Composição de adubos, plantas, defensivos agrícolas, fertilizantes fornecidos, etc
	Técnicos Agrícolas	Elevar a produção com eficiência hídrica e energética, bem como, evitar o aparecimento de pragas	• Gestão de máquinas agrícolas • Pulverização de defensivos agrícolas e fertilizantes • Irrigação de precisão • Eficiência hídrica e energética
Indústria	Auxiliar de Produção	Prevenir mescla e troca de produtos e insumos, além de evitar acidentes e elevar a produção	• Identificação dos lotes produzidos unicamente • Cumprir os prazos estabelecidos para a produção
	Enólogo	Acompanhar o processo produtivo para manter e elevar qualidade do vinho produzido	• Manutenção da temperatura dos tonéis e barris • Composição dos vinhos *assemblage*
	Fornecedores	Elevação das vendas e satisfação do produtor	• Não deixar a produção desprovida de materiais tais quais: cortiça, rótulo, garrafas, barril, identificadores e sensores
Estoque	Logística	Cumprir com os prazos de entrega e manter registros de onde e em que condições está cada produto	• Realizar gestão do estoque e inventário • Localizar produtos indoor e outdoor
Transporte	Transportador	Garantir o transporte das mercadorias e manter registros de localização	• Localizar produtos • Manter registros das condições de armazenamento e transporte das mercadorias
Central de Distribuição	Despachante	Elevar as vendas e manter o estoque que atenda às demandas do varejo	• Cumprir os prazos estabelecidos para entrega das mercadorias
Varejo	*Sommelier*	Elevação das vendas e satisfação dos clientes	• Provê informações aos clientes sobre safra e prêmios • Manter-se informado quanto às alterações dos vinhos
Consumidor Final	Cliente	Ter uma boa relação entre custo e qualidade do vinho	• Saborear um bom vinho e que as informações de sua produção sejam acessíveis facilmente
Geral	Proprietário da vinícola	Elevação as vendas e satisfação de todos os agentes da cadeia de suprimentos	• Possuir informações que elevem as vendas e mostrem novas estratégias de mercado
	Desenvolvedor do sistema	Desenvolver um sistema que atenda às necessidades dos domínios e de fácil manutenabilidade	• Alto desempenho, segurança e evolução do sistema
	Sindicatos e associações	Obter dados da colheita, produção, vendas, importação e exportação	• Dados consistentes da produção, venda, importação e exportação do vinho

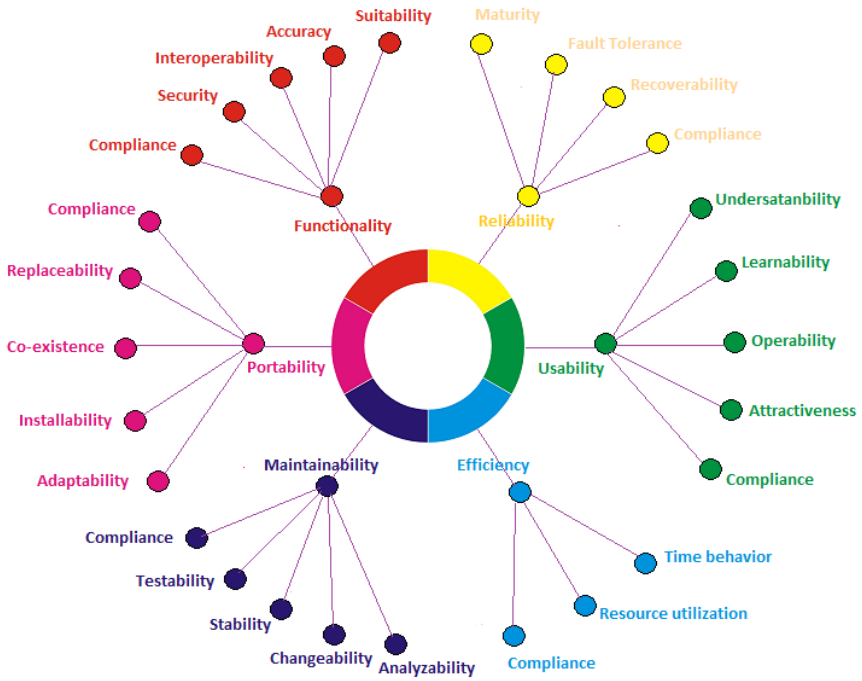
Fonte: Autor

8.3.4 Atributos de Qualidade

Essa seção apresenta os atributos de qualidade que devem ser considerados na implementação do sistema de rastreabilidade. Para isso foi utilizado o padrão ISO/IEC 25000, conhecido como Requisitos e Avaliação de Qualidade de Produto de Software (SQuaRE). O SQuaRE fornece uma estrutura para que as organizações definam um modelo de qualidade para um produto de software (IEC, 2005).

Além disso, o SQuaRE fornece também um conjunto de características de qualidade nas quais os requisitos de qualidade podem ser amplamente comparados. Assim, esse princípio insere na arquitetura os requisitos de qualidade a fim de orientar as etapas de análise, projeto e desenvolvimento do sistema. Para isso, os requisitos de qualidade são estruturados em uma árvore de dois níveis, conforme Figura 27.

Figura 27 – Atributos de qualidade definidos pelo modelo de qualidade SQuaRE

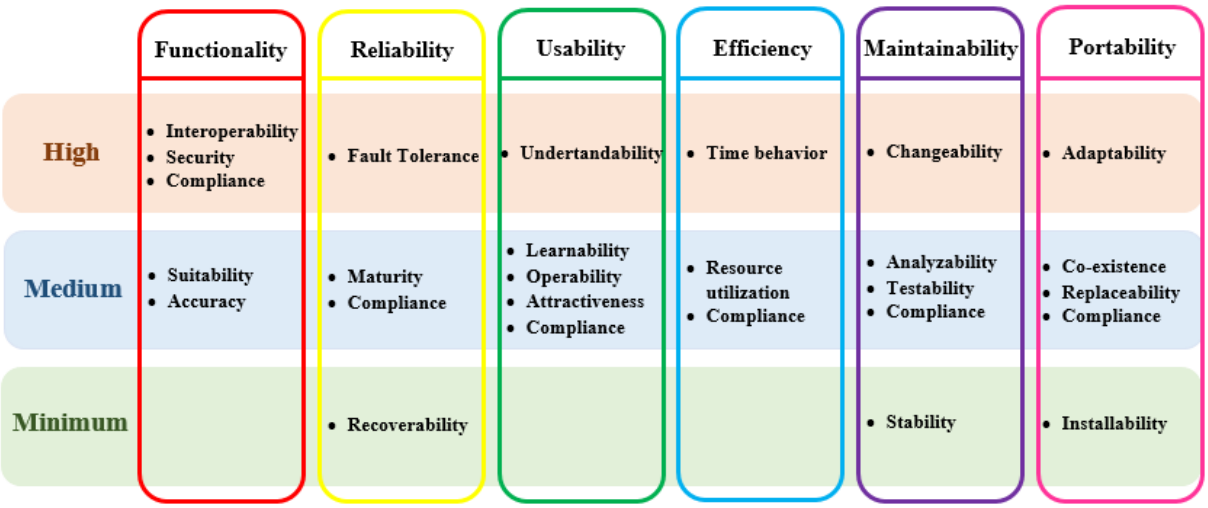


Fonte: Autor

As características de primeiro nível definidas pelo SQuaRE são: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenção e portabilidade. Por se tratar de

uma vasta coleção, a Figura 28 apresenta as características que a arquitetura deverá contemplar divididas em níveis de relevância.

Figura 28 – Atributos de qualidade da arquitetura e suas relevâncias



Fonte: Autor

A seguir são apresentadas algumas definições e destaques de cada categoria dos atributos de qualidade que o arquiteto do sistema deverá ter em mente para a definição da arquitetura:

Funcionalidade. Tem como objetivo avaliar a capacidade do produto de software para fornecer funções que satisfaçam as necessidades declaradas e implícitas quando o software é usado em condições específicas. As principais características desse grupo para a arquitetura são: segurança e interoperabilidade. A segurança, tratado como um dos fundamentos dessa arquitetura, é também um dos atributos de qualidade mais importantes a ser considerado na arquitetura. Em geral, os níveis de segurança devem abordar desde a identificação física de um objeto até o compartilhamento de dados entre os agentes da cadeia. Em relação à interoperabilidade, cada agente da cadeia de suprimentos tem desenvolvido sua própria solução de rastreabilidade dificultando a troca de dados entre os domínios, o que torna esse atributo com alta relevância. Para contemplar a interoperabilidade, a aplicação deve prover modelos de dados (metadados) que não interfiram no desempenho e qualidade dos dados e serviços.

Portabilidade. Em termos gerais, a portabilidade pode ser dita para avaliar a capacidade do produto de software a ser transferido de um ambiente para outro. Entre os atributos de qualidade desse grupo destaca-se outro fundamento da arquitetura, a adaptabilidade. Por meio desse atributo é possível reduzir a participação humana e minimizar erros. Por exemplo, a aplicação de adaptatividade em sensores que enviam informações para um veículo aéreo não tripulado (VANT) para pulverização onde a perda de sinal entre sensores deve ser autoprocessada pela aplicação, que estabelecerá uma nova rota.

Confiabilidade. Refere-se à capacidade do sistema manter-se em um nível de desempenho aceitável quando usado em condições específicas. Entre as sub-características desse grupo a tolerância a falhas é considerada de alta relevância, pois toda a cadeia de suprimentos estará equipada com sensores, atuadores, identificadores, entre outros, responsáveis por captar dados para serem armazenados e processados, dessa forma, a indisponibilidade do sistema por alguns segundos ou minutos será suficiente para perder dados históricos que podem ser relevantes em análises futuras.

Manutenção. A capacidade de manutenção avalia a capacidade do produto de software de ser modificado. No contexto da cadeia de suprimentos do vinho, novos agentes (transportadores, varejistas, centrais de distribuição, por exemplo) poderão surgir, portanto, o sistema deve suportar o acréscimo de dados novos e extensivos. Entre os principais desafios do atributo manutenção, estão àqueles relacionados com escalabilidade, Big Data, qualidade dos dados, heterogeneidade no tipo de representação de dados, alto nível de redundância nos conjuntos de dados e desempenho do banco de dados.

Usabilidade. Avalia a capacidade do produto de software para ser entendido, aprendido, usado e atraente para o usuário, quando usado em condições especificadas; em outras palavras, o esforço necessário para o uso. A principal característica considerada nessa arquitetura é a compreensibilidade. Esse atributo consiste na capacidade do sistema em permitir ao usuário entender se o software é adequado e como ele pode ser usado para tarefas específicas e condições de uso. Por esse motivo, aplicações e aplicativos devem ser atraentes e intuitivos, assim como

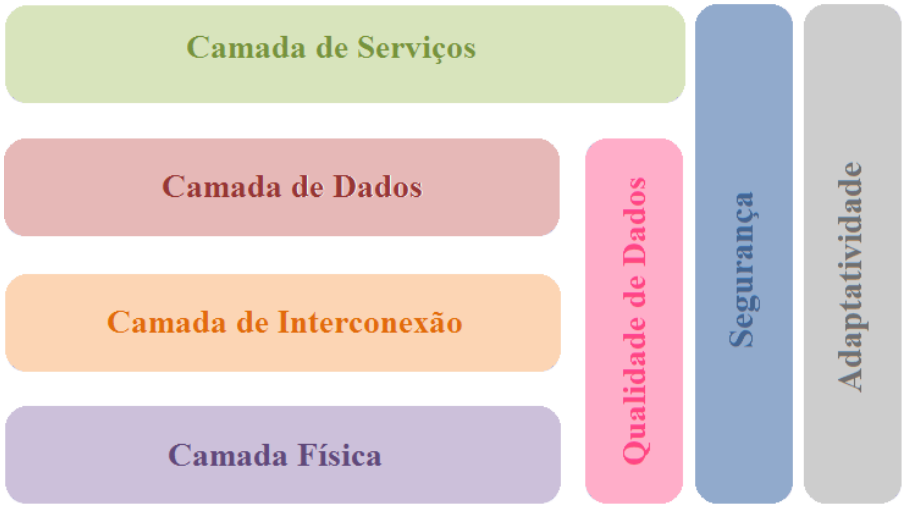
os chats de mensagens instantâneas capazes de consultar do vinhedo a temperatura média em um determinado período ou o índice pluviométrico naquele dia.

Desempenho. Refere-se à capacidade do sistema em fornecer o desempenho adequado, em relação ao número de recursos utilizados, nas condições estabelecidas. O atributo de qualidade chave que identificado neste grupo foi o comportamento do tempo. Esse atributo refere-se à capacidade do sistema em fornecer tempo de resposta apropriado, tempo de processamento e taxas de transferência ao executar sua função em condições declaradas. É um atributo que pode ser medido para cada funcionalidade do sistema.

8.4 Definição da arquitetura

Realizado o levantamento dos requisitos, a identificação dos *stakeholders*, seus interesses e preocupações, além da definição dos atributos de qualidade de maior relevância para o sistema é chegado o momento de definir a arquitetura. A arquitetura de rastreabilidade proposta nesta tese é em camadas, conforme Figura 29. A arquitetura em camadas é recomendada quando se deseja construir novos recursos utilizando-se de sistemas existentes (SOMMERVILLE, 2003).

Figura 29 – Arquitetura em camadas para rastreabilidade do vinho baseada em IoT



Fonte: Autor

Nesse caso, a arquitetura em camadas é bastante apropriada no contexto da cadeia de suprimentos do vinho, onde os agentes já possuem seus sistemas, porém, novos recursos e serviços serão adicionados. Além disso, com uma arquitetura em

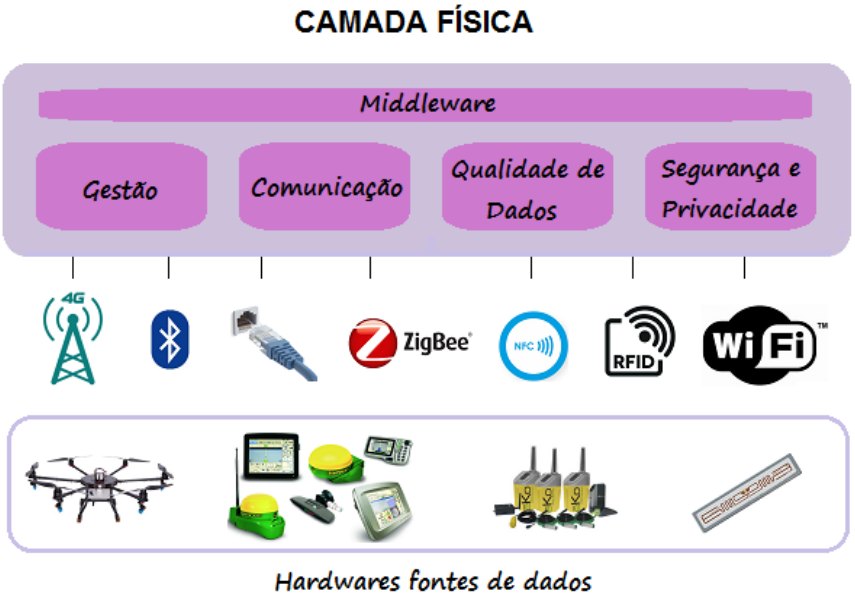
camadas é possível substituir componentes e camadas inteiras, desde que a interface seja mantida.

A arquitetura contém quatro camadas, Camada Física, Camada de Interconexão, Camada de Dados e Camada de Serviços e três componentes que acompanham paralelamente as camadas, são eles: Qualidade de Dados, Segurança e Adpatatividade. Os objetivos e componentes presentes em cada camada são discutidos nas subseções seguintes.

8.4.1 Camada Física

Em uma abordagem *button-up* a camada física é a primeira. Ela tem como objetivo obter dados dos hardwares fontes de dados (leitores e etiquetas RFID, sensores, veículos aéreos não tripulados, máquinas agrícolas automatizadas, câmeras, etc) por meio de um protocolo de comunicação (4G, Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, por exemplo) e enviar esses dados para a camada de interconexão de forma segura e validados quanto ao seu formato, conforme Figura 30.

Figura 30 – Camada Física da Arquitetura



Fonte: Autor

Antes de detalhar as funcionalidades de cada componente faz-se necessário ressaltar que todo e qualquer hardware fonte de dados deverá ser identificado

unicamente, preferencialmente, com o padrão EPCGlobal (GOGLIANO E EDUARDO CUGNASCA, 2013). Diante do grande número de coisas (objetos e pessoas) que poderão estar (inter)conectados pelo sistema, o identificador único dará mais acurácia e permitirá rastrear/monitorar cada produto, insumo, máquina ou hardware unicamente, garantindo precisão no processo de rastreabilidade da cadeia de suprimentos.

Gestão. O módulo de gestão é responsável por gerir os hardwares fontes de dados do sistema, admitir novos dispositivos e gerir os protocolos de todos os hardwares que são fontes de dados do sistema. Inicialmente esse módulo deve suportar protocolos de comunicação, tais quais: redes celulares (GPRS, EDGE, GSM, HSPA, 2G, 3G, 4G, etc), padrão 802.11, Ethernet, Bluetooth, NFC, RFID, ZigBee, etc. Entretanto, caso um hardware que se comunica com outro protocolo (5G, por exemplo) deseja ingressar no sistema, o módulo de gestão é responsável por inserir esse novo protocolo e viabilizar a troca de dados do hardware com o sistema.

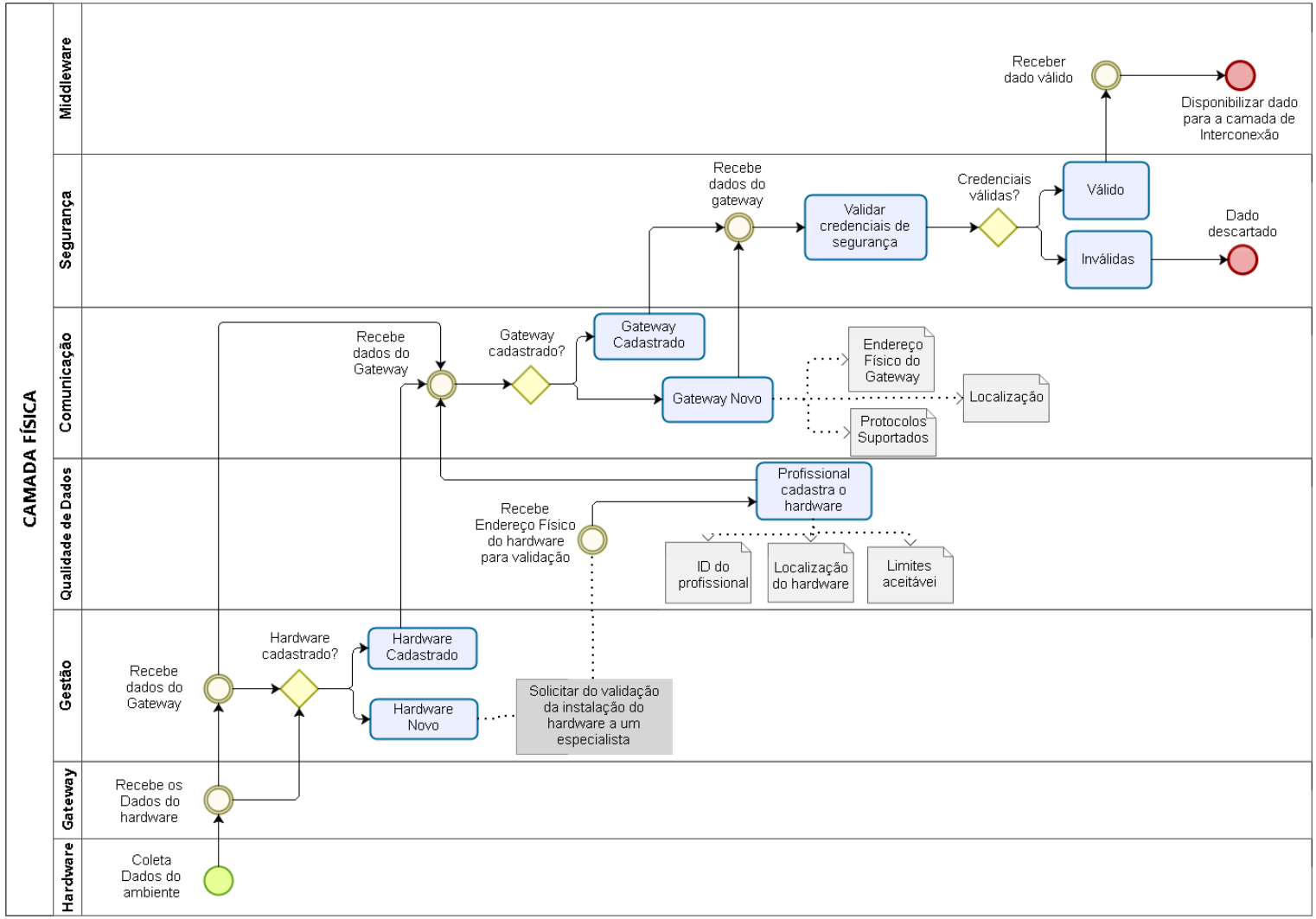
Comunicação. O módulo de gestão tem como finalidade gerir os hardwares concentradores de dados (gateways ou leitores). Em uma rede de sensores, por exemplo, é comum usar um gateway para concentrar os dados daquela rede. No campo, as máquinas agrícolas e trabalhadores rurais poderão estar equipados com sensores, atuadores e identificadores que necessitarão enviar dados para um gateway antes de armazenar e processar essas informações. Dessa forma, o módulo de comunicação mantém registros dos gateways, tais como: localização, protocolos suportados, hardwares fontes de dados vinculados e identificação.

Qualidade de Dados. O módulo de qualidade de dados objetiva avaliar a qualidade dos dados entregues pelos hardwares fontes de dados. Antes de enviar esses dados à camada de interconexão para compartilhamento e/ou armazenamento é necessário validar a consistência do dado lido. Para isso, a admissão de cada hardware fonte de dados é feita por um especialista que deve, inicialmente, definir o formato e intervalo de medidas válidas. Dessa forma, é possível identificar rapidamente dados lidos incorretamente ou que estejam em intervalos incomuns (por exemplo, temperatura de 80º Celsius, umidade relativa do ar negativa).

Segurança e Privacidade. O módulo de segurança e privacidade destina-se a tornar os dados mais seguros a acessos indevidos tanto externamente ao sistema (segurança) quanto pelos agentes da cadeia (privacidade). Os dados coletados por um hardware fonte de dados é transmitido, em sua maioria, usando protocolos de comunicação sem fio, tornando os dados mais vulneráveis a ataques. Os mais comuns no nível físico são: **(i)** Nó falso e dados maliciosos: a adição de um nó falso no sistema pode ocasionar inserção de dados ou códigos falsos, além de consumir energia e tornar uma rede inativa; **(ii)** Captura do nó: um gateway invadido, por exemplo, deixará expostos dados e até mesmo senhas de acessos a camadas superiores do sistema; **(iii)** *Denial of Service* (DoS): um dos ataques mais comuns nas redes de computadores também pode ser usados por hackers em dispositivos fontes de dados na IoT, causando a inoperância do sistema e indisponibilidade de serviços.

Middleware. Por fim, esse módulo é responsável por intermediar as comunicações entre a camada de interconexão (superior) e a camada física. Comumente a camada física receberá solicitações de envio de dados que poderão ser acessados no middleware, por exemplo: status de um leitor RFID, endereço físico de um gateway ou nível de bateria de uma máquina agrícola. Além disso, será no middleware que conflitos de leituras simultâneas de dados serão resolvidos (autenticação de massa), problema muito comum nos sistemas RFID.

Figura 31 – Cenário de captura de dados pelo hardware fonte de dados na camada física



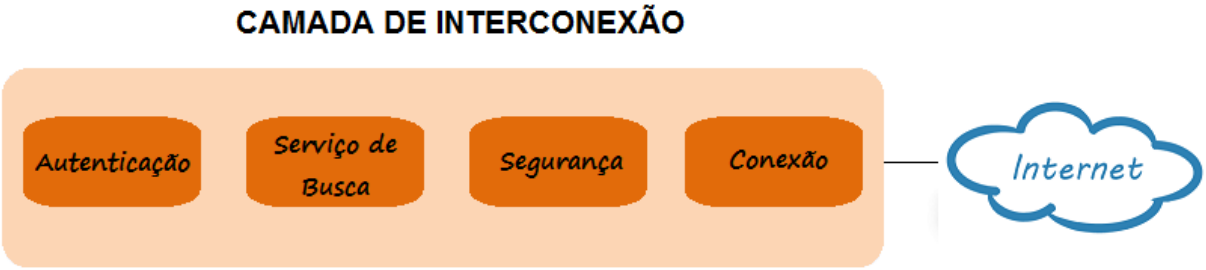
Fonte: Autor

8.4.2 Camada de Interconexão

Uma questão crítica dos sistemas de rastreabilidade atuais é estar pautado no atual paradigma da Web, ou seja, em comunicações humano-humano e humano-máquina. Em aplicações máquina-a-máquina, essas são limitadas ao contexto corporativo no qual apenas membros da mesma empresa podem acessar as máquinas e dados gerados por elas, uma abordagem comumente chamada Intranet of Things.

Dessa forma, o objetivo da camada de interconexão é viabilizar a integração de Intranets das Coisas. Entende-se por Intranets das Coisas redes confinadas com serviços/aplicações próprias de IoT, que faltam integrar com as demais redes com serviços/aplicações IoT. Esta camada é composta por quatro módulos, são eles: autenticação, serviço de busca, segurança e conexão, conforme Figura 32.

Figura 32 – Camada de Interconexão da Arquitetura



Fonte: Autor

Autenticação. Esse módulo tem a finalidade de autenticar novas conexões. Na prática, os agentes da cadeia estarão interconectados por meio da Internet e poderão solicitar dados de rastreabilidade do produto a um parceiro. Nesse instante o módulo de autenticação certificará que a requisição partiu de uma fonte (re)conhecida. A autenticação dará permissão de acesso ao agente solicitante a dados e serviços previamente configurados pelo agente provedor. Além disso, esse módulo armazenará todos os registros de consultas e atualizações de dados feitas no sistema.

Serviço de busca. Em um sistema baseado em IoT, comumente, são realizadas buscas por serviços e objetos. Uma central de distribuição, por exemplo, ao receber um palete buscará informações associadas àquele palete tais como:

origem, destino, conteúdo e número do pedido. Dessa forma, o módulo serviço de busca é responsável por manter a rota para a fonte de informações de cada identificador no sistema. Caso os dados associados a um identificador estejam distribuídos entre agentes da cadeia, o serviço de busca será responsável em unir esses dados e fornecê-los ao requerente.

Segurança. O componente de segurança da camada de interconexão é um dos mais importantes de toda a arquitetura, pois é responsável em garantir que conexões maliciosas não tenham acesso às bases de dados. Por esse motivo, as políticas de segurança adotadas nesse componente devem considerar a heterogeneidade de sistemas e os ataques possíveis para implementar soluções que coíbam e que previnam invasões.

Para alcançar esses objetivos, são mantidos registros de eventos para identificação de usuários, seu tempo de uso, os programas utilizados e comandos executados; cópias de segurança das bases de dados em serviços de armazenamento na nuvem, bem como a com utilização de RAID (*Redundant Array of Independent Drives*) Nível 5; criação de perfis do sistema com seus respectivos usuários e senhas evitando acessos indevidos em áreas restritas; utilização de protocolos de criptografia tais quais: HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*), SSH (*Secure Socket Layer*) e o TLS (*Transport Layer Security*); adoção de certificados digitais para cada agente da cadeia de suprimentos conforme previsto no protocolo HTTPS.

Conexão. Por fim, o componente de conexão deve gerir a rede de interconexão entre os agentes da cadeia. É considerada a porta de saída e de entrada entre o sistema de um determinado agente da cadeia e os demais agentes por meio da infraestrutura de rede da Internet. Portanto, são implementados suporte a protocolos previstos na pilha de protocolos TCP/IP.

Além disso, será de responsabilidade do componente de conexão o gerenciamento de conexões indisponíveis, ou seja, em áreas rurais as opções de conexão e velocidade de tráfego de dados ainda são limitadas e deficientes o que causa um acúmulo de dados a serem recebidos e transmitidos por cada agente da cadeia, que será gerido nesse componente.

8.4.3 Camada de Dados

A camada de dados é responsável pelo armazenamento e conversão de dados em informação e inteligência. Para cumprir com esses objetivos a camada de dados possui três componentes, são eles: persistência, análise de dados e modelo de dados, conforme Figura 33.

Figura 33 – Camada de Dados da Arquitetura

Fonte: Autor

Persistência. Componente responsável pelo armazenamento dos dados associados à produção, armazenamento, distribuição e venda do vinho. Em cada agente da cadeia de suprimentos serão armazenados dados associados à rastreabilidade do vinho. No vinhedo, por exemplo, os dados úteis para a rastreabilidade são capturados e armazenados na base de dados, conforme Quadro 2 do Capítulo 7. Dessa forma, entende-se que para atender às funcionalidades desse componente será usado um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBDs) com altas disponibilidade, escalabilidade e desempenho.

Os SGBDs usados atualmente e que atendem as características desejadas são classificados como do tipo NoSQL (*Not Only* SQL), ou seja, banco de dados não-relacionais. Eles são capazes de gerir grandes volumes de dados, realizar leitura e gravação de dados rapidamente, fácil de expandir e de baixo custo. Por outro lado, o banco de dados NoSQL tem alguns inconvenientes, como não suportar SQL, que é padrão do setor, além de ainda existir certa dificuldade para obter relatórios (HAN et al., 2011).

Análise de dados. Componente responsável pelo processamento e análise dos dados obtidos pelos sensores, atuadores e identificadores. A análise de dados

tem se tornado uma prática comum em *Business Intelligence* (BI) de grandes corporações, principalmente por auxiliar na identificação de padrões de comportamentos de consumidores e ações ineficientes ou custosas da empresa.

No cenário das cadeias de suprimentos do vinho, esse componente auxilia no ajuste dinâmico dos preços de venda do produto, avalia a previsão de venda de acordo com o potencial de cada região e cliente, não somente a partir do histórico de vendas e auxilia o enólogo a reproduzir safras premiadas a partir do cruzamento de dados meteorológicos, índice pluviométrico, irrigação, defensivos usados, fertilizantes, etc. Para atingir esse objetivo o módulo Análise de dados usa também conceitos de aprendizagem de máquina (*Machine Learning*) no qual o objetivo é mapear comportamentos passados em padrões não lineares para gerar previsão de comportamentos futuros.

Interoperabilidade. Componente responsável por viabilizar as comunicações e compartilhamento de dados entre sistemas heterogêneos. Para isso, o componente utiliza uma API para representação dos dados em JSON (*Javascript Object Notation*). O JSON é um padrão de notação de objetos que tem se mostrado mais eficiente do que o XML (*eXtensible Markup Language*), porém, esse componente prevê ainda a utilização de outros padrões com mesmo propósito, tais como: YAML (*Yet Another Markup Language*), BSON (*Binary* JSON) e ProtoBuff (*Protocol Buffers*). A escolha do padrão de serialização de objeto dependerá da equipe de desenvolvedores, contanto que seja provida a comunicação dos sistemas de informação dos agentes da cadeia de suprimento de forma eficiente e transparente.

8.4.4 Camada de Serviços

A camada de serviços é a mais próxima aos clientes de serviços da IoT. Esta camada é responsável por gerenciar os dados processados na camada de dados e disponibilizar informações aos *stakeholders* do sistema por meio de serviços web (W*eb Services*). Os componentes definidos nessa camada são: rastreabilidade, comunicação fim-a-fim e busca de serviços, conforme Figura 34.

Figura 34 – Camada de Serviços da Arquitetura

Fonte: Autor

Rastreabilidade. Componente responsável por disponibilizar o serviço de rastreabilidade do vinho a partir de seu identificador único do produto. Esse componente pode ser considerado como o principal entre todos da arquitetura de rastreabilidade, por prestar serviço a todos os agentes da cadeia de suprimentos, inclusive ao consumidor final. Para isso, o componente certifica que houve autenticação do usuário solicitante do serviço, consulta seu perfil de acesso e realiza a consulta sobre a base de dados para, então, prover o serviço de rastreabilidade. As informações disponibilizadas nesse serviço vão desde insumos usados na produção da uva até as condições ambientais de transporte, passando pelos dados do varejista que recebeu a mercadoria.

Comunicação fim-a-fim. A finalidade do componente comunicação fim-a-fim é estabelecer comunicação entre os serviços dos demais agentes da cadeia de suprimentos. Cada agente da cadeia poderá disponibilizar seus próprios serviços, por exemplo, o serviço de localização de um produto, nesse caso, a camada de serviços de um agente deve estabelecer contato com esse componente para realizar a consulta. Característica semelhante à comunicação fim-a-fim presente na camada de transporte do módulo TCP/IP.

Busca de Serviço. O componente de busca de serviço é responsável por descobrir novos serviços prestados pelos agentes da cadeia de suprimentos. Por exemplo, caso um agente inicie serviços para aplicações de cidades inteligentes e queira compartilhar esse serviço (ou parte dele) com os demais agentes da cadeia de suprimentos. Além de serviços novos o componente de busca de serviço busca também serviços já prestados e que não tinham sido usados.

8.4.5 Demais componentes

Além das camadas física, de interconexão, de dados e de serviço, a arquitetura deste estudo contém três componentes que definem características comuns a todas as quatro camadas, são eles: adaptatividade, segurança e qualidade de dados.

8.4.5.1 Segurança

O componente segurança tem a finalidade de prover segurança e privacidade aos dados e informações processadas, armazenadas e compartilhadas entre os agentes da cadeia de suprimentos. Porém, não se trata de uma ação pontual, mas ações distribuídas de segurança e privacidade entre as camadas. As camadas física e de interconexão possuem componentes específicos que tratam da segurança. Além disso, a camada de dados implementa mecanismos de segurança em suas bases de dados enquanto que na camada de serviços o componente rastreabilidade só presta seu serviço caso o requerente esteja devidamente autenticado e suas credenciais (certificado digital, usuário e senha, por exemplo) não permitam que este negue ter executado ações no sistema, o não repúdio.

8.4.5.2 Qualidade de Dados

A camada qualidade de dados objetiva validar os dados lidos pelos sensores e identificadores, pois estes podem não ser confiáveis. Na camada física há um componente específico para tratar auxiliar nesse objetivo, porém, os dados podem ter origem em outro agente da cadeia de suprimentos. Por esse motivo os conceitos da camada Qualidade de Dados estarão presentes nas camadas física, interconexão e dados. Além de erros, duplicações, inconsistências e ruídos, os dados lidos por sensores e armazenados em identificadores podem apresentar anomalias relacionadas à baixa qualidade do sensor, baixa potência para envio do dado, largura de banda, bem como eventos naturais, manipulação e instalação humana incorreta e exposição a animais silvestres (SUBRAMANIAM et al., 2006).

Dessa forma, antes de qualquer tomada de decisão do sistema é necessário garantir a precisão e confiabilidade dos dados coletados. Em outras palavras, no contexto de IoT, é preciso validar a qualidade dos dados gerados por sensores e armazenados em identificadores, conceito definido nesta tese com qualidade das

coisas. Para prover qualidade das coisas esse componente prevê um engenho de avaliação sobre os dados, instalação do hardware e *outliers* (dados desarmônicos das demais observações), realizada por um especialista. Nesse cenário é imprescindível atribuir e guardar a reputação de cada avaliador que é, comumente, um especialista da área ou quem auditou a instalação dos hardwares e pericia periodicamente os dados lidos.

A técnica de detecção de *outliers* considerada nesta tese é a abordagem baseada em estatísticas. Nesse caso, um modelo estatístico é estimado, os dados são capturados, distribuídos e avaliados para determinar se esses cabem no modelo (ZHANG et al., 2010). A técnica usada no modelo matemático em questão foi a não paramétrica. A ideia básica é não estipular limites de dados iniciais ao quais os valores lidos serão testados, ao contrário, não são feitas suposições iniciais das distribuições dos valores lidos e de acordo com um modelo probabilístico correto é possível determinar ao longo do tempo os *outliers*.

8.4.5.3 Adpatatividade

O módulo adaptatividade considerado nesse estudo propõe uma abordagem adaptativa para definição dos demais módulos da arquitetura. Para isso, o arquiteto do sistema deve realizar um levantamento dos atributos de qualidade e requisitos indispensáveis para a cadeia de suprimentos do vinho em questão (CAMPOS e CUGNASCA, 2014). Na prática, inicialmente, deve-se realizar o levantamento dos requisitos, conforme Tabela 4. Em seguida, atribuir a prioridade desses requisitos em quatro níveis, tais quais: Alta (A), Média (M), Baixa (B) e Não se Aplica (NA).

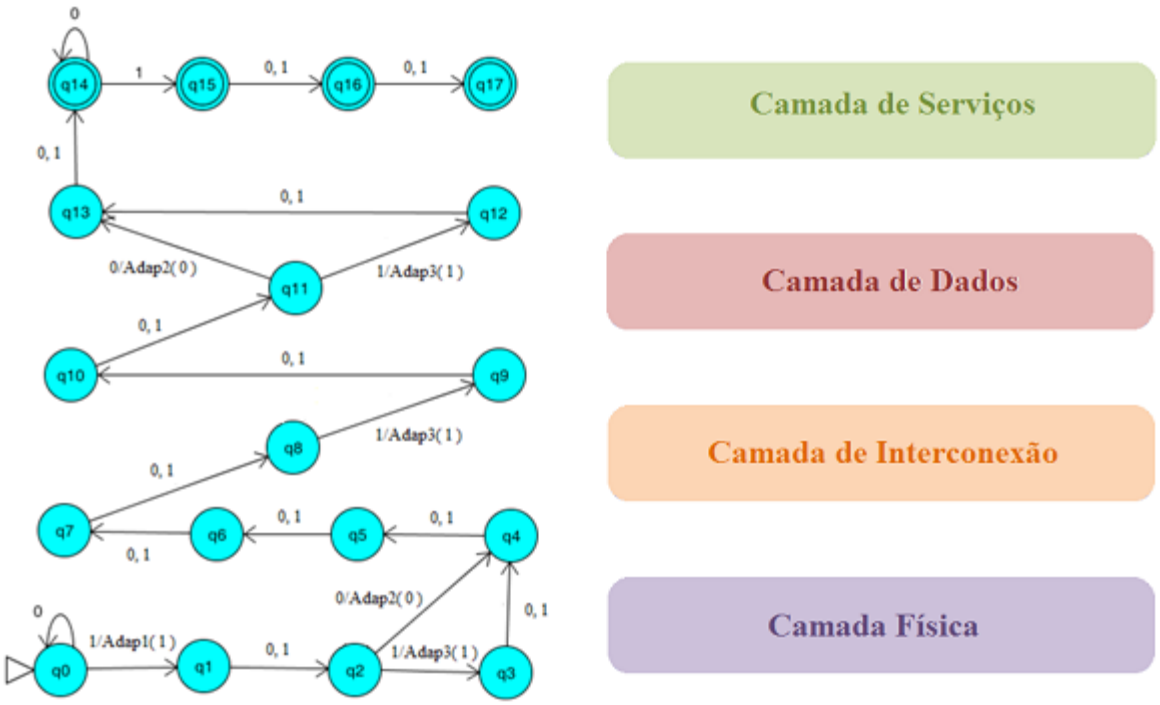
Tabela 4 – Requisitos da arquitetura para preenchimento da sua relevância

Requisito	Detalhamento	Relevância			
		A	M	B	NA
q0	Ler objetos/coisas e/ou ambiente de forma ubíqua	X			
q1	Identificar unicamente cada objeto/coisa	X			
q2	Monitoramento do ambiente através de sensores		X		
q3	Objetos inteligentes capazes de monitorar algum dado do ambiente		X		
q4	Objetos comunicando entre si sem gateway	X			
q5	Objetos rastreáveis todo o tempo	X			
q6	Suporte a diferentes tecnologias de leitores		X		
q7	Troca de dados segura entre leitores, etiquetas e sensores		X		
q8	Interconexão de objetos/coisas e/ou sistemas de informação através da internet	X			
q9	Troca de dados entre sistemas de informação de diferentes parceiros	X			
q10	Quantidade crescente de objetos monitorados	X			
q11	Armazenamento persistente de dados relacionados aos objetos/coisas e/ou ambiente	X			
q12	Recuperação de todo o histórico de informações		X		
q13	Utilização de dados armazenados para tomada de decisões associadas ao objeto	X			
q14	Serviços prestados aos *stakeholders* participantes do modelo de negócios	X			
q15	Interfaces do sistema de fácil uso	X			
q16	Alto desempenho para consultas e serviços		X		
q17	Serviços acessíveis a qualquer dispositivo conectado à internet		X		

Fonte: Campos e Cugnasca (2013)

Considera-se os requisitos classificados com prioridades alta e média como valor 1 (verdadeiro), enquanto que os requisitos com prioridades baixa e não se aplica são classificadas como valor 0 (falso). Esses valores são usados nas transições do Autômato Adaptativo (AA), conforme Figura 35. O AA é usado para determinar os módulos da arquitetura que serão implementados para a cadeia de suprimentos do vinho em questão.

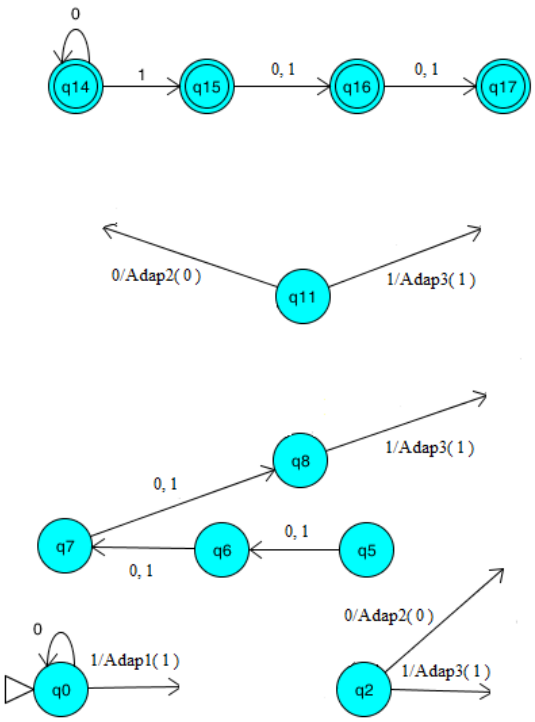
Figura 35 – Mapeamento dos requisitos por meio de um autômato adaptativo



Fonte: Autor

A topologia inicial desse AA segue especificação conforme Figura 36. Em q0 o autômato busca garantir a leitura de objetos e/ou monitoramento de ambientes de forma ubíqua. Portanto, a primeira ação adaptativa do AA só será executada com a garantia de que o requisito q0 será incorporado na arquitetura.

Figura 36 – Topologia inicial do autômato adaptativo



Fonte: Autor

Ao todo o AA possui 3 (três) funções adaptativas, são elas Adap1, Adap2 e Adap3. A função Adap1 adapta funcionalidades da camada física. Ao ser executada é criado um novo estado q1 correspondente ao requisito Q1. A função Adap1 pode ser representada, em notação algébrica, como:

Adap1(1):	(1)
f, g*{	(2)
– [(f , 1) - > q0, Adap1(1)]	(3)
+ [(f , 1) - > g]	(4)
+ [(g, 0) - > q2]	(5)
+ [(g, 1) - > q2]}	(6)

A semântica da função adaptativa Adap1 é entendida da seguinte forma:

- Linha (1): O cabeçalho especifica o nome da função (Adap1) e o valor da sua transição que ativa a função;
- Linha (2): f é uma variável local, cujo valor é definido durante a execução de Adap1, neste caso, f valerá q0. Enquanto g é o nome de um gerador, que

fornecerá a cada vez que a função A for executada, diferentes nomes para um novo estado a ser criado;

- Linha (3): Elimina-se a transição que parte do estado q0 e chega no próprio estado q0, consumindo o símbolo 1;
- Linha (4): Adiciona-se uma transição que chega ao estado q1 após consumir o símbolo 1;
- Linha (5): Adiciona-se uma transição consumindo o símbolo 0, partindo do estado q1 e tendo como destino q2;
- Linha (6): Adiciona-se uma transição consumindo o símbolo 1, partindo do estado q1 e tendo como destino q2;

A função Adap2 é responsável por consumir o símbolo 1 e criar um novo estado e duas transições (0 e 1) partindo deste novo estado. Por fim, a função Adap3 executa função semelhante a Adap2, entretanto, consumindo o símbolo 0.

Em resumo, por não existir um modelo único para a cadeia de suprimentos do vinho, o componente adaptatividade permite ao arquiteto do sistema adaptar a arquitetura de acordo com as particularidades de cada cadeia de suprimentos. Portanto, é possível usar o princípio da adaptatividade tanto na obtenção da arquitetura quando na implementação dos seus componentes.

8.5 Avaliação da Arquitetura

A avaliação da arquitetura valerá do trabalho publicado por Pires et al. (2015) no qual um amplo apanhado de arquiteturas e middlewares de IoT e uma avaliação dos seguintes requisitos foram realizados: **(i)** interoperabilidade; **(ii)** descoberta e gerenciamento de dispositivos; **(iii)** provisão de interfaces de alto nível; **(iv)** ciência de contexto; **(v)** escalabilidade; **(vi)** gerenciamento de grandes volumes de dados; **(vii)** segurança, e **(viii)** adaptação dinâmica, conforme Tabela 5. Nela, o símbolo ✓ denota que o requisito é completamente atendido, o símbolo ○ indica que o requisito é parcialmente atendido, e o símbolo ✗ indica que o requisito não é atendido.

Tabela 5 – Avaliação dos requisitos entre arquiteturas e middlewares baseados em IoT

Plataformas de middleware	Interopera-bilidade	Descoberta e Gerencia-mento de Dispositivos	Interfaces de Alto Nível	Ciência de Contexto	Escalabili-dade	Gerencia-mento de Grandes Volumes de Dados	Segurança	Adaptação Dinâmica
EcoDIF	✓	○	✓	○	✓	✓	✓	✗
Xively	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✗
Carriots	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✗
LinkSmart	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗
OpenIoT	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗
RestThing	✓	✗	✓	○	✗	✗	✗	✗
WoT Enable	✓	✗	✓	○	✗	✗	✗	✗
S^3OIA	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓
Ubiware	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓
WSO2	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
INRIA ARLES	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗
Arquitetura porposta nesta tese	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓

Fonte: Adaptado de Pires et al. (2015)

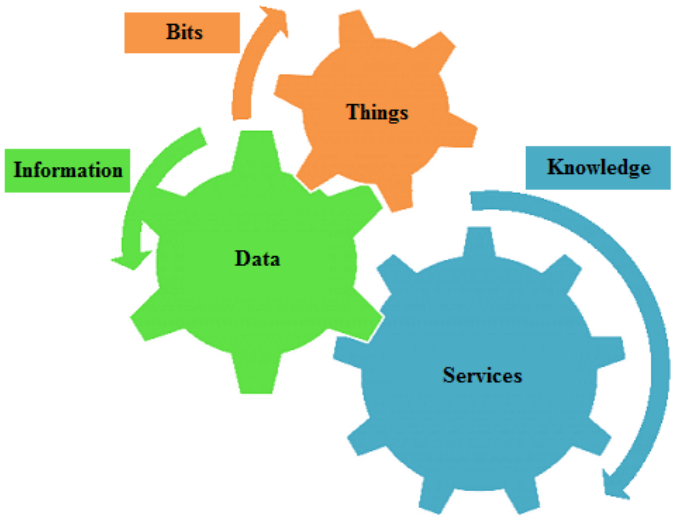
Constata-se que somente a arquitetura proposta nesta tese contempla todos os requisitos analisados. A adaptabilidade, caracterizada por adaptação dinâmica, é pouco contemplada pelas plataformas, enquanto que a interoperabilidade já é um requisito que está amplamente abordado. Por fim, ainda que os dados coletados sejam caracterizados por meio da inclusão de dados semânticos tais quais localização, horário, etc, a ciência de contexto é contemplada parcialmente pela arquitetura proposta nesse estudo.

8.6 Considerações finais do capítulo

Com a abrangência do paradigma IoT e a busca por soluções inéditas o mais previamente possível, inúmeras propostas de arquiteturas de IoT têm sido apresentadas tanto na academia quanto no contexto empresarial. Entretanto, a maioria das arquiteturas concentram suas abordagens, seus objetivos e componentes em determinadas visões de IoT privilegiando alguns serviços em detrimento de outros.

A arquitetura proposta nesse capítulo apresentou camadas bem definidas e módulos que contemplam as variadas visões de IoT. Elas agrupam coisas, dados e serviços que geram informações e conhecimento, conforme Figura 37.

Figura 37 – Geração de conhecimento por meio de coisas, dados e serviços



Fonte: Autor

O Capítulo mostrou que é possível ao arquiteto do sistema obter uma arquitetura de forma adaptativa de acordo com particularidades da cadeia de suprimentos do vinho e que atenda os interesses e preocupações de cada *stakeholder* dessa cadeia.

9 PROVA DE CONCEITO: VINÍCOLA RIO SOL

Entre as variadas formas de validação de uma arquitetura a prova de conceito foi aquela adotada nesse trabalho, ou seja, a arquitetura orientou a implementação de um sistema baseado em IoT para rastreabilidade do vinho em um cenário real. Para que a prova de conceito em um cenário real fosse possível, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) apoiou financeiramente o projeto intitulado Modelo de Rastreabilidade da Cadeia do Vinho Baseado em Internet das Coisas Utilizando Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e Identificação por Radiofrequência (RFID) no período de agosto de 2013 a janeiro de 2017.

Por meio desse projeto foi possível a aquisição de hardwares (etiquetas RFID, sensores, gateways, entre outros) e o deslocamento até a vinícola para as etapas de levantamento de requisitos, instalação e testes do sistema. Dessa forma, as seções desse capítulo apresentam detalhadamente a própria vinícola, bem como o sistema implementado.

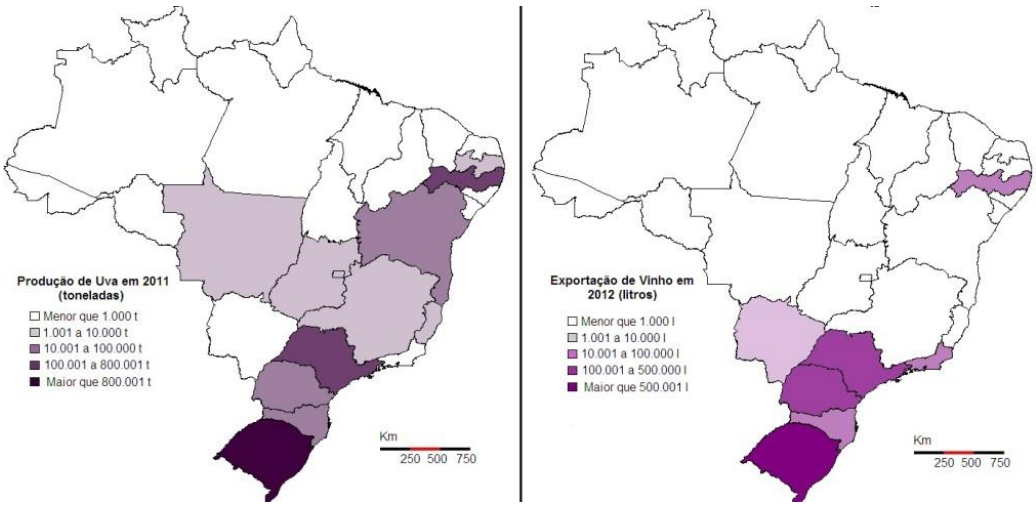
9.1 Apresentação

Em 2012 o Brasil exportou 6,34 milhões de litros de vinho, no valor de US$ 7,83 milhões, um crescimento de 41% com relação ao ano de 2011 (ALICE, 2003). A Figura 38 mostra a produção de uva em 2011 e a exportação de vinho em 2012 nos diferentes estados brasileiros. É possível observar três regiões de maior importância: Sul (Rio Grande do Sul e Paraná), Sudeste (São Paulo) e Nordeste (Bahia e Pernambuco, na região do Vale do São Francisco).

A região Nordeste é uma região de grande importância, devido a possibilidade de gerar duas safras por ano, em ciclos de 120 a 130 dias, enquanto que a safra no sul e sudeste do país limita-se a uma por ano. O período de repouso das vinhas no Vale do São Francisco é induzido pela irrigação artificial e dura de 30 a 60 dias (AGUILAR, 2008). Diante desse cenário, a região nordeste do país foi escolhida para a prova de conceito, pois, além de produzir vinhos premiados nacionalmente e internacionalmente, é capaz de gerar duas safras por ano, em ciclos de 120 a 130 dias. Enquanto que a safra no sul do país, região de maior produção de vinhos do Brasil, limita-se a uma safra por ano.

Dessa forma, o Vale do Rio São Francisco tornou-se uma importante região na produção de vinhos e atualmente está entre as três regiões com maior produção de vinhos do Brasil.

Figura 38 – Produção de uva em 2011 e exportação de vinho em 2012 no Brasil



Fonte: Adaptado de MDIC/SECEX (2013)

Entre as vinícolas situadas no Vale do São Francisco, o primeiro contato para parceria foi prontamente atendido pela Vitivinícola Santa Maria localizada no município de Lagoa Grande-PE. Em operação desde 2003 no Vale do São Francisco, a Vinícola Rio Sol, é a única a produzir vinhos com reconhecimento internacional na latitude 8º Sul.

A fazenda conta com uma área de 200 ha de vinha em uma área total de 1600 ha. Todas as áreas de produção estão equipadas com um dos mais modernos sistemas de fertilização e de irrigação o que torna possível obter produção durante todo o ano. As principais castas plantadas são: Cabernet Sauvignon, Syrah, Aragonês, Touriga Nacional, Alicante Bouschet e Moscato Canelli.

9.2 Definição do domínio

Em meados de 2014 foi realizada a primeira visita com a finalidade de mapear os domínios e os agentes da cadeia de suprimentos dos vinhos Rio Sol, os requisitos do sistema e os *stakeholders*. Nesse contexto, foram identificados os domínios a seguir e suas características:

- **Vinhedo:** a vinícola Rio Sol possui 120 hectares de área plantada com irrigação por gotejamento, onde são produzidos anualmente, cerca de 1,5 milhão de quilos de uvas.
- **Indústria:** a produção de vinho é realizada na mesma área da fazenda. Através da indústria Rio Sol, toda linha de vinhos e espumantes são processados e engarrafados. Anualmente são produzidas, aproximadamente, 2 milhões de garrafas, entre vinhos e espumantes.
- **Estoque:** A empresa conta com um processo de armazenagem próprio que monitora a temperatura dos barris e garrafas armazenadas em estoque.
- **Transporte:** Nesse domínio os paletes são identificados e as garrafas são sempre acondicionadas em caixa. O transporte das caixas pode ser feito de três formas diferentes, são elas: (i) transporte para a central de distribuição; (ii) transporte para o varejista (se tiver representante na zona) e (iii) transporte para consumidor (cidades vizinhas). Por fim, deve-se considerar que um palete pode conter caixas destinadas para mais de um varejista e comumente a mercadoria passa por mais de um interposto.
- **Central de Distribuição:** Nesse domínio existe um responsável da área de vinhos que ordena a entrega das caixas aos varejistas, portanto, dependerá da disponibilidade de caixas na central e do responsável. Cada pilha de paletes tem sua identificação de lote e é dessa identificação que é possível montar a rastreabilidade do produto nesse domínio.
- **Varejista:** Esse domínio é desprovido de inovações tecnológicas que retorne à vinícola informação a respeito da aceitação do vinho, bem como, condições de recebimento e venda das garrafas.
- **Consumidor Final:** Domínio que envia poucas informações à vinícola, sobretudo, pela falta de mecanismos ágeis e práticos de conexão.

Para validação da arquitetura por meio da implementação do sistema de rastreabilidade foram selecionados dois domínios: vinhedo e indústria. Os cenários de utilização das implementações a partir nesses domínios são descritos na seção 9.3.

9.3 Cenários

O objetivo dessa seção é identificar alguns cenários para consolidação das entradas de informações nos domínios vinhedo e indústria e implementar soluções capazes de explorar os módulos da arquitetura. Dessa forma, em consonância com os interesses da vinícola, foram identificados três cenários nos domínios do vinhedo e indústria:

- **Cenário 1:** Monitoramento de variáveis ambientais do vinhedo. Por meio da RSSF ēKo, efetuar coleta de dados ambientais tais quais: temperatura e umidade relativa do ar, umidade e potencial hídrico do solo, radiação solar e molhamento foliar.
- **Cenário 2:** Troca de mensagens instantâneas com o vinhedo. Implementação de um robô capaz de executar tarefas pré-definidas gerenciando cada inserção de dado, fornecendo respostas automáticas em conversas por meio de perguntas e respostas em um aplicativo de mensagens instantâneas.
- **Cenário 3:** Armazenamento de paletes e caixas na indústria. Implementação de um sistema para rastreabilidade das caixas e paletes armazenados na vinícola usando RFID para posterior entrega ao transportador.

Enquanto os cenários 1 e 2 estão inseridos no domínio do vinhedo, o cenário 3 refere-se ao domínio da indústria. Destaca-se ainda que o cenário 2 está diretamente relacionado ao fundamento social da arquitetura, ou seja, provê a ligação de alguns *stakeholders* com a vinícola de forma rápida e amigável.

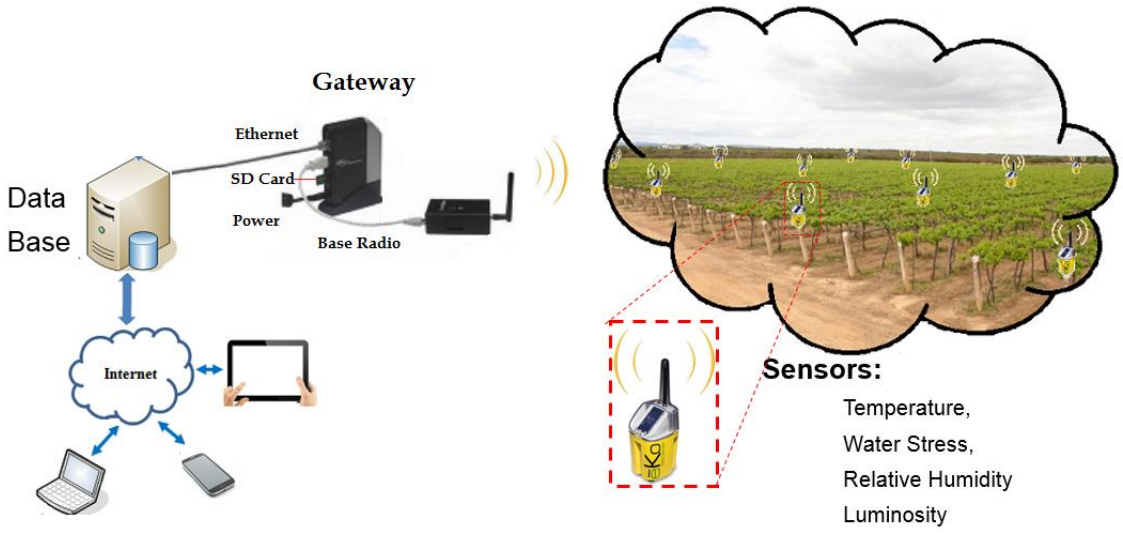
9.4 Resultados

Os resultados das implementações são apresentados de acordo com as camadas descritas pela arquitetura.

9.4.1 Cenário 1: Monitoramento de variáveis ambientais do vinhedo

Esse cenário caracteriza-se pela utilização de uma RSSF da linha ēKo no vinhedo para coletar dados ambientais, conforme esquema da Figura 39.

Figura 39 – Visão geral do sistema de rastreabilidade no vinhedo usando RSSF ēKo



Fonte: Autor

A Camada Física é formada pelos nós e sensores da RSSF ēKo, uma solução fornecida pela Memsic Corporation[15]. Esta solução conta com um conjunto de nós equipados com sensores *plug-in-play* capazes de monitorar variáveis ambientais. Esta camada é responsável pela coleta e envio dos dados dos nós em campo para a camada de interconexão utilizando a rede ZigBee. Os nós da RSSF, foram implementados para que trabalhassem de forma autônoma, corrigindo o enlace automaticamente caso ocorre-se algum problema de comunicação.

A escolha do local para instalação da RSSF no campo partiu dos seguintes critérios: (i) o interesse do enólogo da vinícola em monitorar o comportamento de uma área recém-plantada em sua primeira produção de frutos, (ii) garantir os requisitos necessários para o funcionamento da RSSF como: alimentação elétrica e conexão com a internet para o gateway da RSSF; distância mínima entre nós da rede para garantir uma boa comunicação e local de fácil acesso caso necessite de manutenção. Com base nos critérios apresentados, foram definidos dois talhões para a instalação da RSSF localizados próximos a uma residência de apoio pertencente a vinícola, conforme Figura 40.

[15] Memsic Coporation link: http://www.memsic.com/

Figura 40 – Disposição dos nós no vinhedo após a instalação da RSSF

Fonte: Autor

Cada ícone de numeração contido na Figura 40 mostra a posição exata onde o nó foi instalado no vinhedo. As linhas verdes entre os nós representam o nível de qualidade do enlace de comunicação, que neste caso especificamente alcança de 90% e 100% do nível de sinal. Para cobrir a área monitorada foram utilizados: um gateway, cinco nós e um total de quatorze sensores espalhados na área cultivada. Os nós foram instalados em uma elevação de dois metros para facilitar a captação da radiação solar (utilizada na alimentação dos nós) e evitar interferência nos tratos das plantas, conforme Figura 41.

Figura 41 – Nó da RSSF instalado no talhão monitorado

Fonte: Autor

Cada nó possui entrada para quatro sensores distintos. Dessa forma, ao todo foram obtidos dados das seguintes variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade do ar, umidade do solo, potencial hídrico do solo, radiação solar e molhamento foliar. Cada sensor foi instalado obedecendo estritamente as orientações previstas pelo fabricante e auditadas por um técnico especializado. Os sensores de umidade interna e externa do solo (ES1100 e ES1110), por exemplo, são instalados diretamente no solo, conforme Figura 42. Já os sensores de temperatura e humidade (ES1201), umidade foliar (ES1301) e radiação solar (ES1401) utilizam a estrutura de poliéster onde o nó foi instalado.

Figura 42 – Instalação do sensor de umidade do solo

Fonte: Autor

Após a instalação dos nós são realizadas a instalação e a configuração do gateway, juntamente com a rádio base. Com a RSSF configurada e funcionando iniciou-se a coleta de dados sendo estes passados para a camada de interconexão.

Na camada de interconexão os dados coletados pelos sensores são organizados e armazenados em tabelas distintas em um banco de dados Sqlite. Cada sensor da RSSF é mapeado para uma tabela distinta nessa base de dados. Cada registro da tabela possui as seguintes informações: horário que foi armazenado

(result_time), identificador do nó que o sensor está instalado (Noid) e os valores das variáreis monitoradas, conforme Figura 43.

Figura 43 – Registros das leituras do sensor de umidade do solo

	result_time	nodeId	soilMoisture
1	2016-09-29 17:17:34	32788	0.258593
2	2016-09-29 17:17:39	32788	0.338956
3	2016-09-29 17:17:45	32788	0.338956
4	2016-09-29 17:18:19	32788	0.338956
5	2016-09-29 17:18:48	32788	0.338956
6	2016-09-29 17:19:19	32788	0.338956
7	2016-09-29 17:19:52	32788	0.338956
8	2016-09-29 17:20:22	32788	0.338956
9	2016-09-29 17:21:18	32788	0.338956
10	2016-09-29 17:21:27	32788	0.338956
11	2016-09-29 17:21:57	32788	0.338956
12	2016-09-29 17:22:26	32788	0.338956
13	2016-09-29 17:22:58	32788	0.338956
14	2016-09-29 17:24:01	32788	0.258593

Fonte: Autor

Para sincronizar os dados armazenadas no *gateway* com a camada de dados foram implementados scripts em linguagem Python disponíveis no Apêndice A responsáveis por recuperar os últimos registros e enviá-los para o servidor. Em resumo, são armazenados dados de horário, usuário e frequência em que as ações serão executadas. Nesse caso, foi configurado para executar os scripts em um intervalo de quinze minutos. Quando executado, o *script* recupera os últimos registros armazenados e os organiza em um documento no formato JSON enviando para a API (*Application Programming Interface*) por meio de uma requisição HTTPS, conforme Figura 44.

Por fim na camada de serviços os dados armazenados na camada de dados são disponibilizados para outras aplicações através da Web por meio da API. A API foi implementada seguindo o modelo Arquitetural REST. Nesse modelo todos os recursos e informações são disponibilizados por meio de URLs. Toda a troca de informações entre as aplicações com esta camada é realizada usando requisições HTTP implementadas pelos métodos simples, tais como: GET, POST, PUT e DELETE.

Figura 44 – Exemplo de um documento JSON contendo os dados do gateway


```
{
  "registros": [
    {
      "_id": "57efdd9a29f19b73c597832a",
      "data": "2016-10-01T12:45:04.000Z",
      "noid": 2,
      "bv": 4.37,
      "sv": 4.6,
      "tempInterna": 41.76
    },
    {
      "_id": "57efdd9b29f19b73c597832d",
      "data": "2016-10-01T12:45:31.000Z",
      "noid": 9,
      "bv": 4.22,
      "sv": 4.51,
      "tempInterna": 40.73
    },
```


Fonte: Autor

Para gerenciar as requisições é usada a tecnologia *server-side*, o Node.js e o framework Web Express. Quanto ao banco de dados utilizou-se o MongoDB. O Node.js é uma plataforma para desenvolvimento de aplicações server-side baseadas em rede (LOPES, 2014), sendo ideal para o desenvolvimento de aplicações web de alto desempenho como serviços web e APIs (POULTER; JOHNSTON; COX, 2015). As aplicações são escritas com a linguagem JavaScript e executadas com motor de interpretação V8 JavaScript Engine. As aplicações Node.js são projetadas visando maximizar o throughput e a eficiência, usando operações de entrada e saída não bloqueantes, e eventos assíncronos.

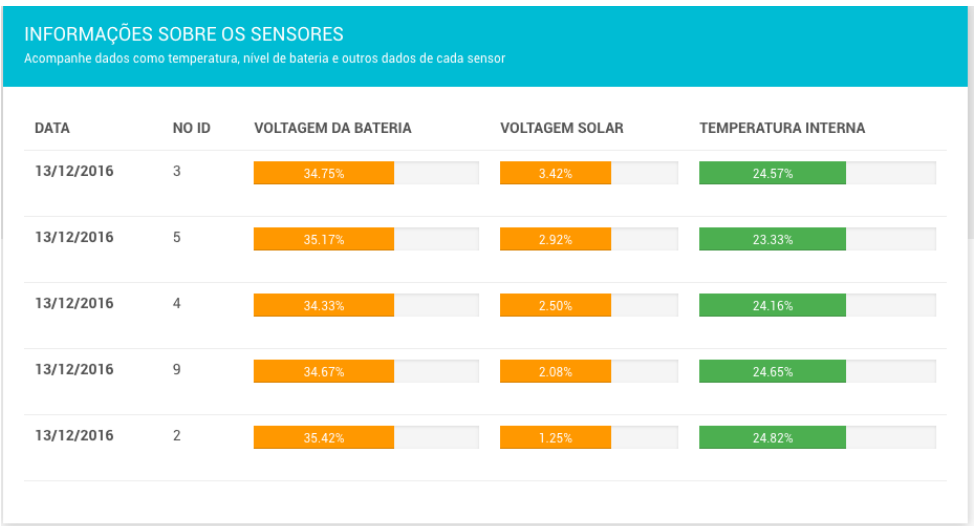
Um dos módulos combinados com o Node.js foi o Express. Express, criado em 2009 por TJ Holowaychuk, é um *framework web light-weight* que ajuda na organização de sua aplicação web na arquitetura MVC no lado do servidor (ALMEIDA, 2015). O Express estende as capacidades do servidor padrão do Node.js adicionando middlewares e outras capacidades como *views* e rotas (ALMEIDA, 2015). Os recursos desse framework web são importantes para a criação e definição de rotas personalizas do serviço. Por meio do Express mapeou-se cada sensor da RSSF para uma rota específica, fazendo com que toda a interação entre os sistemas e a solução desenvolvida ocorram por meio dos métodos HTTP.

Para persistência dos dados foi utilizado o banco de dados MongoDB. Desenvolvido em C++, o MongoDB é um sistema de armazenamento de dados

estruturados escalável, multiplataforma, de código aberto, orientado a documento e de alta performance (ALMEIDA, 2015). Para organizar as informações, foram realizados mapeamentos das tabelas do banco de dados SQLite para coleções do MongoDB garantindo a assim a integridade dos dados. As coleções foram criadas utilizando o Mongoose. O Mongoose é uma biblioteca do Node.js para modelagem de objetos MongoDB escrita em JavaScript, funcionando como ODM (*Object Data Mapping*). No Monogoose são definidos os esquemas de dados contendo os campos e tipos de informações que serão armazenadas nas coleções.

Por fim, foi implementada uma aplicação web para exibição dos dados de rastreabilidade capturados pela RSSF e disponíveis na camada de serviços por meio da API implementada. A aplicação foi desenvolvida em forma de uma SPA (*Single Page Application*) utilizando as bibliotecas da Google: Angular[16], Google MAPS[17]. Uma vez cadastrados os nós, a aplicação permite acompanhar informações como: nível de bateria, radiação solar e temperatura interna. Para isso foi desenvolvido uma página em um formato de tabela interativa conforme Figura 45. Através desta tela o usuário pode acompanhar as condições que o nó se encontra e o momento da última leitura.

Figura 45 – *Dashboard* para apresentação dos dados associados a um nó

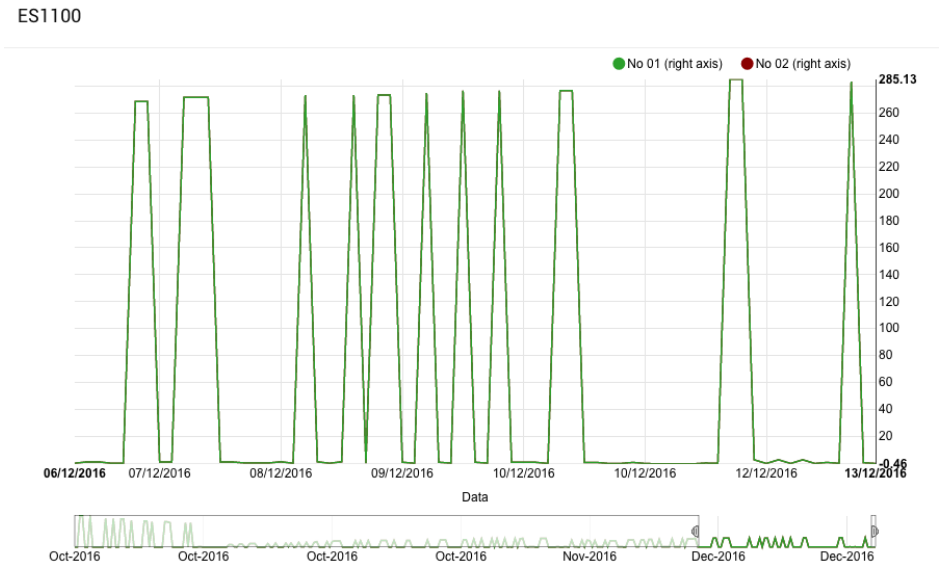


Fonte: Autor

[16] Angular link: https://angularjs.org/
[17] Google Maps link: https://www.google.com.br/maps

Assim como a exibição dos dados dos Nós, a aplicação web reorganiza as informações dos sensores em formato de gráficos interativos. A Figura 46 apresenta um exemplo de um gráfico contendo as informações do sensor responsável por monitorar a umidade do solo. Os dados dos sensores foram organizados em forma temporal, podendo ser alterado de forma dinâmica quando necessário.

Figura 46 – Gráfico com os dados do sensor de umidade do solo



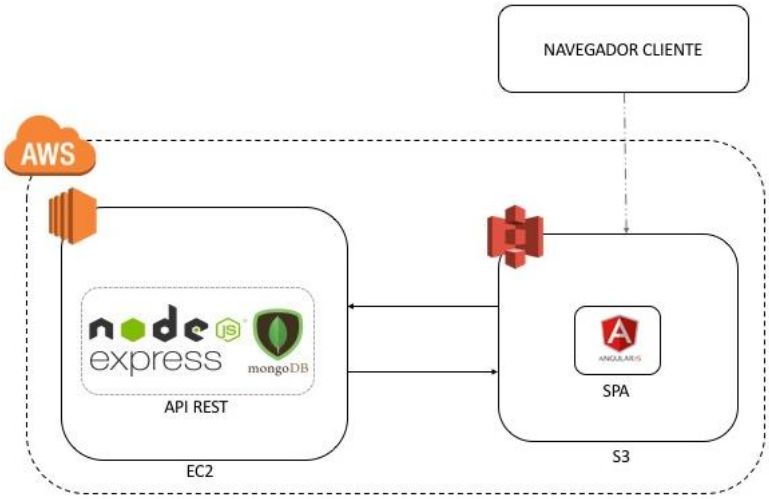
Fonte: Autor

Para tornar a aplicação disponível na internet, foram utilizados serviços da *Amazon Web Services* (AWS). A AWS oferece um amplo conjunto de produtos de nuvem globais, como computação, armazenamento, bancos de dados, análises, redes, dispositivos móveis, ferramentas de desenvolvedor, ferramentas de gerenciamento, segurança e aplicações corporativas (AWS, 2016). Neste estudo foram utilizados o *Amazon Elastic Compute Cloud* (EC2) e S3.

O Amazon EC2 é um serviço da web que fornece capacidade computacional na nuvem e que permite os usuários utilizarem máquinas virtuais nas quais podem executar suas próprias aplicações fornecendo um controle completo sobre seus recursos computacionais e permitindo a execução no ambiente computacional (LECHETA, 2014). Já o EC2 provê escalabilidade dos dados permitindo que a aplicação aumente ou diminua a quantidade de dados frequentemente. Além disso, é possível comissionar centenas ou até milhares de instâncias do servidor simultaneamente. Para hospedar a aplicação, foi criada uma instância EC2 equipada

com SO Ubuntu *Server* 16.04 e os requisitos necessários. Após configuração da instância, foram instalados todos os softwares e dependências necessárias para o projeto, conforme Figura 47.

Figura 47 – Diagrama de distribuição dos componentes do AWS



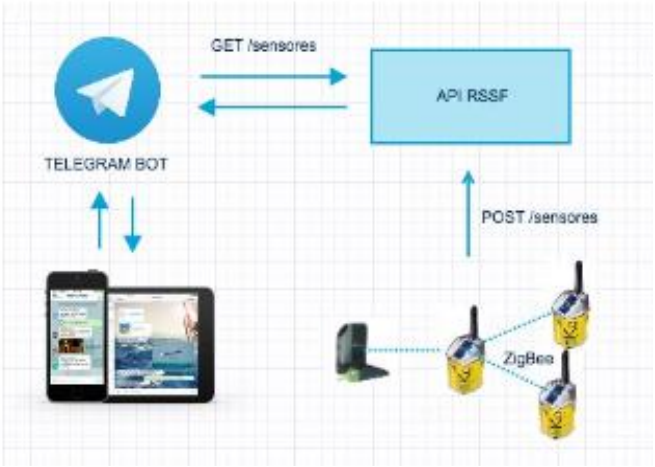
Fonte: Autor

O servidor Node.js é responsável por acessar os dados do MongoDB e gerenciar todas as requisições externos a instância EC2. Enquanto o *bucket* do S3 hospeda a SPA criada para exibir as informações do sistema. O S3 é um dos serviços que compõem o AWS e é responsável por disponibilizar a aplicação na Web. Nele, é utilizado um *bucket* com permissões públicas para armazenar os arquivos das páginas HTML, folhas de estilos e os scripts, e configuramos uma URL para acessar o index da aplicação. Toda a interação entre os componentes é realizada por meio de requisições HTTP.

9.4.2 Cenário 2: Troca de mensagens instantâneas com o vinhedo

Esse cenário caracteriza-se pela implementação de um robô (*bot*) para comunicação por meio de perguntas e respostas em um aplicativo de mensagens instantâneas, conforme Figura 48.

Figura 48 – Fluxo de comunicação entre o *ChatBot* e a API da RSSF

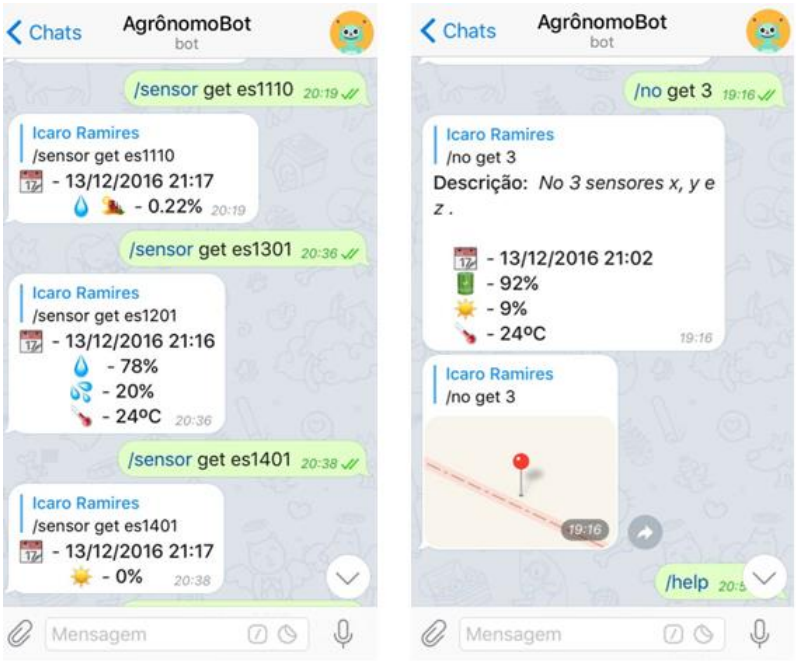


Fonte: Autor

As camadas física, de interconexão e de dados permanecem com as mesmas configurações do Cenário 1. A única mudança nesse segundo cenário é a inserção de um serviço na camada de serviços, nesse caso o AgrônomoBot. Esse serviço opera em um servidor Web e funciona através de comandos específicos ou palavras chaves passadas por meio de uma API do aplicativo Telegram. Para promover a interação do agente com a API REST foram desenvolvidos quatro comandos pré-definidos: /start, /help, /no get {id}, /sensor get {modelo}.

Na prática, ao enviar uma mensagem contendo qualquer uma destas instruções, uma requisição é enviada para API do Telegram invocando o agente, que posteriormente requisita os dados da API RSSF. A princípio, qualquer usuário do aplicativo mensageiro Telegram pode iniciar uma conversa com o AgrônomoBot e interagir com o ChatBot para obter informações ambientais, como temperatura e umidade do ar da RSSF, conforme Figura 49.

Figura 49 – Comandos e informações recebidas no aplicativo Telegram



Fonte: SBIAgro 2017

As informações ambientais disponíveis seguem regras que retornam ao usuário as informações de acordo ao que foi especificado na API Bot:

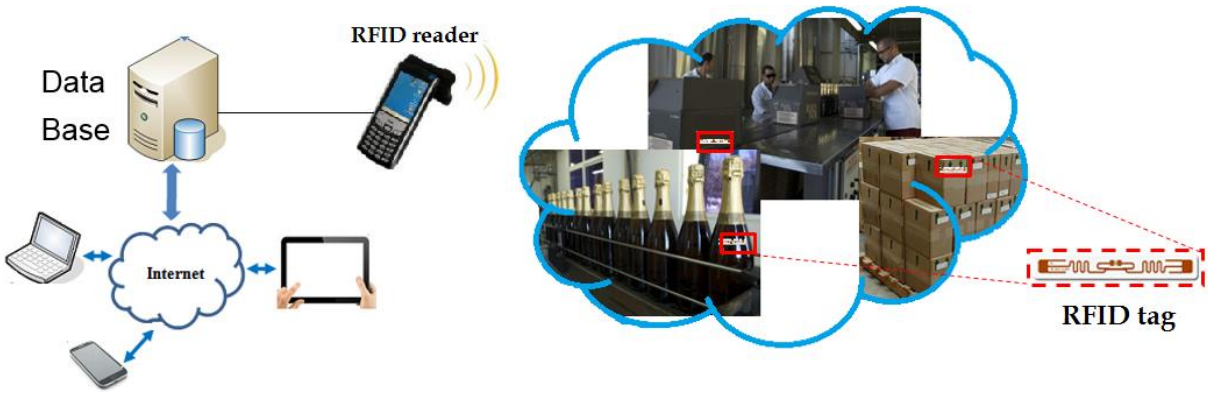
- O comando /start é aplicado assim que inicia o chat e na tela principal é apresentado ao usuário quem é o AgrônomoBot.
- O comando /help mostra ao usuário um conjunto de regras e o que elas retornam.
- O comando /no get {id} é passado o número do nó (sensor) e o usuário tem as informações: data e hora, nível da bateria, carga solar, temperatura e localização.
- O comando /sensor get {modelo} é passado a referência do sensor presente no nó para capturar a informação e retornar ao usuário. Essa referência está presente na documentação do nó.

9.4.3 Cenário 3: Armazenamento de paletes na indústria

Implementação do sistema de rastreabilidade das caixas e paletes de vinhos armazenados na indústria usando RFID, conforme Figura 50. O processo de

recebimento, armazenamento e distribuição de mercadorias talvez seja o mais comum em qualquer cadeia de suprimentos, não é diferente na cadeia de suprimentos do vinho, sobretudo, após o vinho engarrafado e armazenado em caixas e paletes.

Figura 50 – Visão geral do sistema de rastreabilidade no armazenamento de caixas e paletes na indústria usando RFID



Fonte: Autor

O terceiro cenário dessa prova de conceito buscou implementar um sistema de rastreabilidade usando etiquetas RFID para identificação das caixas e paletes de vinho e um aplicativo para dispositivos móveis responsável pela atualização da base de dados, conforme Figura 51.

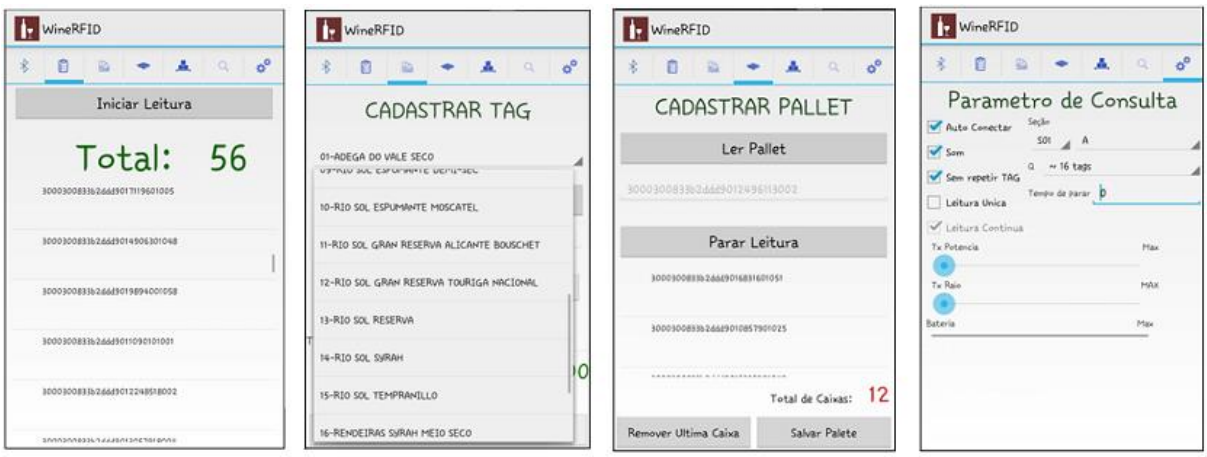
Na camada física estão os leitores RFID para captura das identificações contidas nas etiquetas RFID. Na camada de interconexão as informações estão acessíveis para agentes da cadeia que receberão as caixas ou paletes contidos em um pedido despachado.

Figura 51 – Visão geral da comunicação entre o aplicativo, leitor e etiquetas RFID

Fonte: Autor

Tais informações são armazenadas em um banco de dados não relacional na camada de dados. Por fim, o serviço web é implementado de modo simples e confiável com o NodeJS e Express para disponibilização e atualização dos dados por meio de um aplicativo, conforme Figura 52.

Figura 52 – Aplicativo para armazenamento, distribuição e localização de mercadoria no estoque da indústria



Fonte: Autor

9.5 Considerações finais do capítulo

Esse capítulo teve como objetivo apresentar e discutir a utilização da arquitetura como guia para a obtenção de um sistema de rastreabilidade na cadeia de suprimentos do vinho, visando a sua validação. Para que o objetivo fosse atingido, tecnologias RFID e RSSF foram usadas em três cenários, o que gerou dois aplicativos para dispositivos móveis e uma aplicação web.

10 CONCLUSÃO

Esta tese propôs uma arquitetura baseada em IoT capaz de orientar o desenvolvimento de sistemas de rastreabilidade na cadeia de suprimentos do vinho. Apesar de existirem diversas arquiteturas baseadas em IoT, de acordo com os métodos de busca e avaliação empregados nesta tese verificou-se que a ausência de uma arquitetura baseada em IoT especificamente para a rastreabilidade no domínio da cadeia de suprimentos do vinho (Capítulo 5). Além disso, os sistemas de rastreabilidade implementados nas cadeias de suprimentos atualmente não contemplam amplamente o paradigma IoT, sobretudo nas interconexões de agentes da cadeia de suprimentos (Capítulo 4).

Portanto, esta tese propôs uma arquitetura em camadas para rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho baseada no paradigma IoT, seus fundamentos, *stakeholders* em cada domínio, atributos de qualidade, cenários e componentes. A arquitetura partiu de um modelo de rastreabilidade detalhado e baseado em fontes de informação com boa reputação (Capítulo 7), o que permitiu identificar dados de rastreabilidade próprios do domínio da cadeia do vinho.

A arquitetura proposta ainda está pautada em fundamentos que garantem o desenvolvimento de sistemas seguros e capazes de adaptarem-se diante de novas situações, bem como, definem os requisitos de qualidade prioritários para implementação, além de inserir a cadeia de suprimentos do vinho nas redes sociais (Capítulo 8). Na prática, essas características tornam a arquitetura flexível para a implementação de sistemas em cadeias de suprimentos do vinho com um número variável de agentes, e robusta o suficiente para integrar novos agentes (Capítulo 9). As seções subsequentes desse capítulo detalham as contribuições e as limitações desta tese, apresenta a produção científica e sugere trabalhos futuros subdivididos em categorias de pesquisa na academia.

10.1 Contribuições

Nesta tese são discutidas as arquiteturas de IoT e suas aplicações em um contexto de rastreabilidade da cadeia de suprimentos do vinho. Dessa forma, as

principais contribuições complementares e a contribuição principal desta tese podem ser dividias nos aspectos a seguir:

- **Identificação dos principais domínios de aplicação de IoT que utilizam RFID e RSSF.** Inicialmente, uma ampla revisão da literatura sobre os domínios de aplicação de IoT foi realizada evidenciando o agronegócio como um destes domínios (CAMPOS e CUGNASCA, 2014a; TOSCHI, CAMPOS e CUGNASCA, 2017);
- **Identificação do estado da arte das aplicações de IoT no domínio da viticultura.** Em seguida, o escopo da revisão da literatura foi especializado nas cadeias de suprimentos do vinho, a fim de verificar a existência de arquiteturas nesse domínio e o emprego do paradigma IoT.
- **Definição de um modelo de rastreabilidade do vinho baseado em IoT.** Baseado nas revisões da literatura, um modelo para rastreabilidade do vinho foi especificado, o que auxiliou na identificação os *stakeholders* da cadeia de suprimentos do vinho (SILVA, CAMPOS e CUGNASCA, 2013; CAMPOS e CUGNASCA, 2013);
- **Identificação e avaliação dos atributos de qualidade em Arquiteturas de IoT.** Em outra vertente, mais associada às Arquiteturas de IoT, foi realizada uma ampla revisão da literatura que resultou na identificação e avaliação dos atributos de qualidade dessas arquiteturas (CAMPOS e CUGNASCA, 2014b; CAMPOS e CUGNASCA, 2014c);
- **Definição das características e dos atributos de qualidade principais para o desenvolvimento de aplicações baseadas em IoT.** Após concluir esse estudo de identificação e avaliação dos atributos de qualidade, o autor sentiu-se confortável para definir os atributos de qualidade principais para o desenvolvimento de aplicações baseadas em IoT.
- **Definição de uma arquitetura para rastreabilidade do vinho baseada em IoT.** Diante dos estudos realizados e dados de rastreabilidade identificados nas cadeias de suprimentos do vinho, uma arquitetura de rastreabilidade do vinho baseada em IoT foi definida.
- **Aplicação da arquitetura em um caso real.** Por fim, a arquitetura foi validada ao orientar a implementação de um sistema que está em testes na vinícola Rio

Sol (SOUZA, I.R.C; CAMPOS, L.B.; CUGNASCA, C.E., 2017; SOUZA, I.R.C et al., 2017).

10.2 Produção Científica

Essa seção apresenta as produções científicas relacionadas a esta tese.

10.2.1 Artigo publicado em periódico

- TOSCHI, G. M.; **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C. E. Home Automation Networks: A Survey. **Computer Standards & Interfaces**, v. 50, p. 42-54, 2016.

10.2.2 Artigos publicados em conferências

- SOUZA, I.R.C.; **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Integração de Redes de Sensores Sem Fio a Sistemas de Informação para Rastreabilidade do Vinho. In: XI Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2017, Campinas. XI Congresso Brasileiro de Agroinformática. Campinas, 2017 (*no prelo*).
- SOUZA, I.R.C.; ABREU, B.M.A.; SOUZA, I.R.C.; **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. AgrônomoBot: um ChatBot para exibição de dados de uma RSSF EKO aplicado em agricultura de precisão. In: XI Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2017, Campinas. XI Congresso Brasileiro de Agroinformática. Campinas, 2017 (*no prelo*).
- SILVA, R. F.; **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. AgrônomoBot: um ChatBot para exibição de dados de uma RSSF EKO aplicado em agricultura de precisão. In: XI Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2015, Campinas. XI Congresso Brasileiro de Agroinformática. Campinas, 2015
- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E.; HIRAKAWA, A.R.; MARTINI, JOSE S.C. Towards an IoT-based system for Smart City. In: 2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), 2016, São Paulo. 2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE). p. 129-130.
- TOSCHI, G.M.; **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. An UPnP architecture for interoperability in Home Area Network. In: 2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE), 2016, Sao Paulo. 2016 IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE). p. 51-52.

- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Towards an IoT-Based Architecture for Wine Traceability. In: 2015 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (IEEE DCOSS), 2015, Fortaleza. 2015 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems. p. 212-213.
- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Applications of RFID and WSNs technologies to Internet of Things. In: 2014 IEEE Brasil RFID, 2014, São Paulo. 2014 IEEE Brasil RFID. v. 1. p. 19-21.
- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Towards an Adaptive Internet of Things Architecture. In: VIII Workshop de tecnologia adaptativa, 2014, São Paulo. Anais do VIII workshop de tecnologia adaptativa. São Paulo, 2014.
- SILVA, R. F.; **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Modelo de Rastreabilidade da Cadeia do Vinho para Exportação Utilizando Redes de Sensores Sem Fio e RFID. In: IX Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2013, Cuiabá. IX Congresso Brasileiro de Agroinformática. Cuiabá, 2013.

10.2.3 Resumos publicados em conferências

- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Uma Proposta de Arquitetura para Rastreabilidade do Vinho Baseada em Internet das Coisas. In: Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da EPUSP, 2015, São Paulo. Anais do IV Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da EPUSP (WPG-EC 2015). São Paulo: EPUSP, 2015. p. 52-54.
- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Applications of RFID and WSNs technologies to Internet of Things. In: 2014 IEEE Brasil RFID, 2014, São Paulo. 2014 IEEE Brasil RFID. São Paulo, 2014. v. 1. p. 40-41.
- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Uma Avaliação dos Atributos de Qualidade das Arquiteturas de Internet das Coisas. In: III Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação da EPUSP. São Paulo, 2014.
- **CAMPOS, L. B.;** CUGNASCA, C.E. Um Modelo de Rastreabilidade da Cadeia do Vinho Baseado em Internet das Coisas Utilizando Redes de Sensores Sem

Fio e RFID. In: II Workshop de Pós-Graduação da Área de Concentração Engenharia de Computação da EPUSP. São Paulo, 2013.

10.2.4 Colaborações em Projeto de Pesquisa

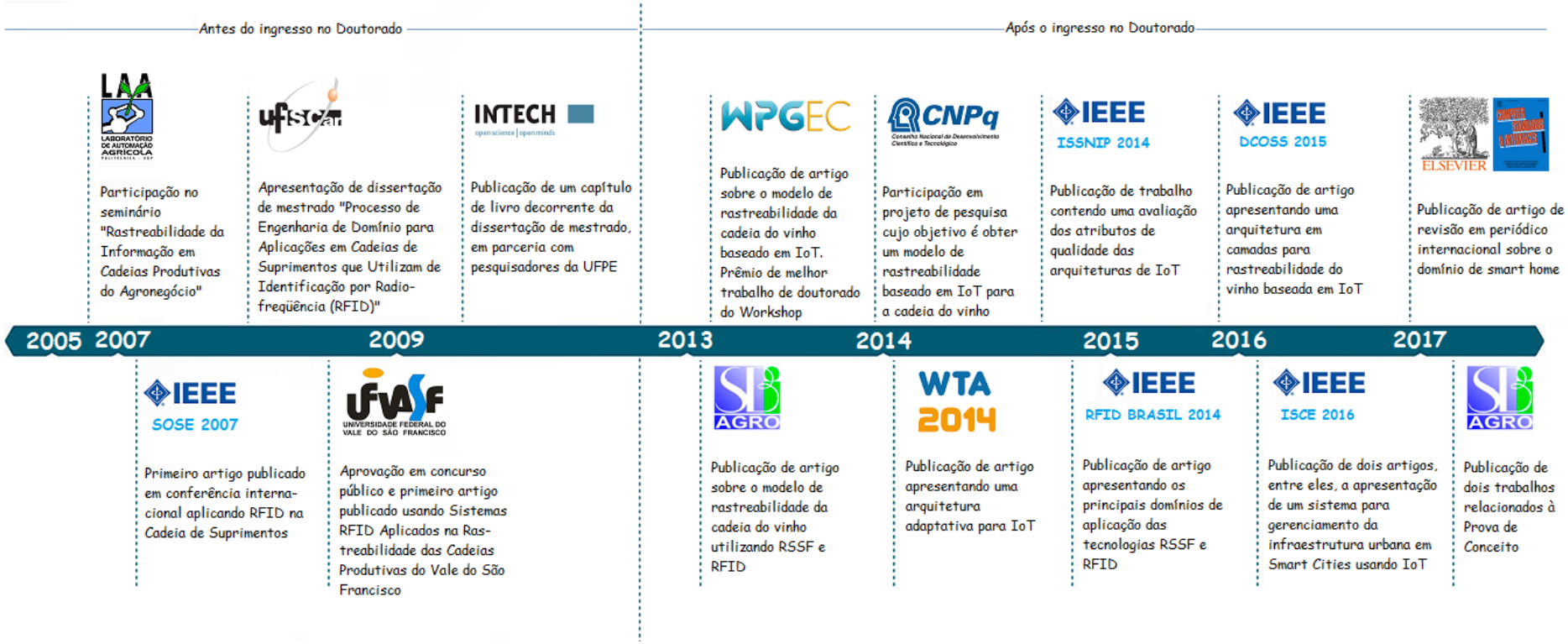
- Modelo de Rastreabilidade da Cadeia do Vinho Baseado em Internet das Coisas Utilizando Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e Identificação por Radiofrequência (RFID) Projeto suportado pelo CNPq e certificado pela empresa VITIVINICOLA SANTA MARIA S.A. em 26/01/2017. **Integrantes: Leonardo Barreto Campos** – Integrante / Carlos Eduardo Cugnasca – Coordenador.
- Fórum Brasileiro de Internet das Coisas. Vice-coordenador do Grupo de Trabalho em Educação.

10.2.5 Orientações e co-orientações

- Randler Ferraz Almeida. Aplicação da Tecnologia RFID para Rastreabilidade da Cadeia de Suprimentos do Vinho no Contexto de Internet das Coisas. Início: 2017. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Sistemas de Informação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. (Orientador).
- Igo Romero Costa de Souza. Integração de Redes de Sensores Sem Fio a Sistemas de Informação para Rastreabilidade do Vinho. Início: 2017. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Sistemas de Informação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia. (Orientador).
- Giovanni Gardusi. Persistência de dados da Rede de Sensores Sem Fio ēKo. Início: 2015. **Iniciação Científica** (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade de São Paulo. (Co-orientador).

Os principais resultados relacionados à publicação científica desta tese foram sumarizados em uma linha do tempo, conforme Figura 53. É possível verificar também a atuação do autor na área de IoT e suas tecnologias estruturantes como a identificação por radiofrequência desde o ano de 2005.

Figura 53 – Linha do tempo com as principais contribuições da tese e atuação do autor



Fonte: Autor

10.3 Trabalhos Futuros

A concepção da arquitetura descrita nesta tese abriu linhas de pesquisas e oportunidades de melhorias da proposta apresentadas. Às linhas de pesquisa identificadas o autor categorizou com potencial de Doutorado, Mestrado e Iniciação Científica ou Trabalho de Conclusão de Curso, conforme seções a seguir:

10.3.1 Perspectivas de continuidade

- Especificar a arquitetura em outras visões tais como: visão de casos de uso, visão de implantação, visão de processos e visão de implementação.
- Expandir a prova de conceito nos demais agentes da cadeia de suprimentos do vinho (estoque, transporte, centrais de distribuição, varejista e consumidor).

10.3.2 Doutorado

- Análise de dados em Big Data para redução de custos de produção.
- Internet das Nano Coisas (IoNT) aplicada no combate de pestes e na melhoria da produção da uva.
- Qualidade das Coisas: um framework sobre qualidade de dados no contexto de IoT.

10.3.3 Mestrado

- Simulação de modelos usando RFID e RSSF na cadeia de suprimentos do vinho;
- Definição das características chave para desenvolvimento de aplicações baseadas em IoT;
- Visão computacional aplicada na colheita da uva;
- Uma arquitetura adaptativa para rastreabilidade baseada em IoT

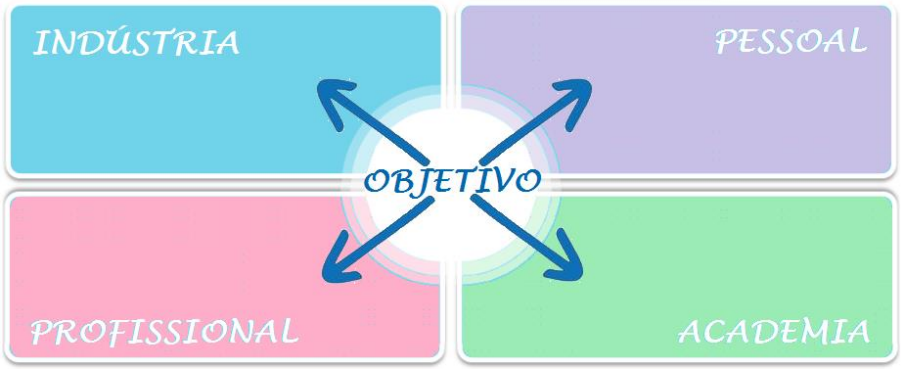
10.3.4 Iniciação Científica ou Trabalho de Conclusão de Curso

- Aplicativo para localizado indoor de produtos usando *beacons*
- Aplicativo para entrega e recebimento de mercadorias
- Aplicativo para análise movimentação dos trabalhadores rurais no vinhedo

10.4 Limitações

As limitações apresentadas nesta tese devem-se ao equilíbrio de quatro forças (anseios) que existiram ao longo de sua concepção, conforme Figura 54, são elas: pessoal vs. profissional e academia vs. indústria.

Figura 54 – Forças que contribuíram com as limitações da pesquisa



Fonte: Autor

A força associada ao lado pessoal refere-se às competências e formação acadêmica do autor. Enquanto que a força profissional diz respeito à sua atuação profissional, neste caso docente. Por fim, as outras duas forças conflitantes são a indústria que espera a inovação no contexto do agronegócio e a academia que não costuma validar propostas sem inovação científica. Na prática, o trabalho não detalhou ao arquiteto do sistema um roteiro com passos bem-definidos para a obtenção da arquitetura.

10.5 Considerações Finais

O planeta tende a se transformar em um enorme campo informacional global onde tudo e todos podem ter para si próprios dados, informações e conhecimentos para tomar mais rápidas e grandes decisões. Assim, modelos, arquiteturas e aplicações deve seguir uma tendência natural de mudança de paradigma, em que a Web já não será mais baseada nas informações fornecidas por pessoas, mas as coisas vão atuar como protagonistas do aumento do fluxo de dados e informações que circulam na Internet.

REFERÊNCIAS

ABAD, E. et al. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 394-399, 2009. ISSN 0260-8774.

ABBASI, Abu Zafar et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. **Computer Standards & Interfaces**, v. 36, n. 2, p. 263-270, 2014.ISSN 0920-5489.

ADAMO, C. A global perspective of the wine supply chain: the case of Argentinean wineries and the US market. 2004. **Massachusetts Institute of Technology**, 2004.

AGUILAR, J. C. P. **Abordagem Semântica Aplicada ao Gerenciamento de Dados em Redes de Sensores sem Fio**. 2008. 113p Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

AMPATZIDIS, Y. G.; VOUGIOUKAS, S. G. Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 66, n. 2, p. 166-172, 2009. ISSN 0168-1699.

ANASTASI, G. et al. Monitoring high-quality wine production using wireless sensor networks. In: SYSTEM SCIENCES, 2009. HICSS'09. 42nd HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2009, Big Island. **Proceedings…** Big Island: IEEE, 2009, p.1-7.

ASHTON, K. That ‘internet of things’ thing. **RFiD Journal**, v. 22, p. 97-114, 2009.

ATALI, A.; LEE, H. L.; ÖZER, Ö. **If the inventory manager knew: Value of visibility and RFID under imperfect inventory information**. Available at SSRN 1351606, 2009.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010. ISSN 1389-1286.

ATZORI, L.; CARBONI, D.; IERA, A. Smart things in the social loop: Paradigms, technologies, and potentials. **Ad Hoc Networks**, v. 18, p. 121-132, 2014. ISSN 1570-8705.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. Atlas, 1993. ISBN 8522408742.

BAHGA, A.; MADISETTI, V. **Internet of Things:** A Hands-on Approach. VPT, 2014. ISBN 0996025510.

BARGE, P. et al. RFID tracking of potted plants from nursery to distribution. International Conference Ragusa SHWA2010. **Ragusa Ibla Campus**, Italy, 2010.

BASSI, A. et al. **Enabling Things to Talk**. 2013.

BERNARD, A. et al. The Belgian PCB/dioxin incident: analysis of the food chain contamination and health risk evaluation. **Environmental Research**, v. 88, n. 1, p. 1-18, 2002. ISSN 0013-9351.

BORGIA, E. The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. **Computer Communications**, v. 54, p. 1-31, 2014. ISSN 0140-3664.

BOSCH, J.; MOLIN, P. Software architecture design: evaluation and transformation. Engineering of Computer-Based Systems. In: ENGINEERING OF COMPUTER-BASED SYSTEMS, 1999, Nashville. **Proceedings…** Nashville: IEEE, mar. 1999. P. 336-343.

BOWMAN, K. D. Longevity of radiofrequency identification device microchips in citrus trees. **HortScience**, v. 45, n. 3, p. 451-452, 2010. ISSN 0018-5345.

BOULOS, M. N. K.; BERRY, G. Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: a condensed primer. **International Journal of Health Geographics**, v. 11, n. 1, p. 25, 2012. ISSN 1476-072X.

BRASIL. **Operação Leite Compen$ado. 2013**. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Comunicacao_Interna/notatecnica.pdf >. Acesso em: Maio 2014.

BRIDGE. **BRIDGE - Building Radio-frequency IDentification for the Global Environment - FINAL REPORT 2006-2009**. 2009.

BURRELL, J.; BROOKE, T.; BECKWITH, R. Vineyard computing: Sensor networks in agricultural production. **IEEE Pervasive Computing**, v. 3, n. 1, p. 38-45, 2004. ISSN 1536-1268.

CACERES, R.; FRIDAY, A. Ubicomp systems at 20: Progress, opportunities, and challenges. **IEEE Pervasive Computing**, v. 11, n. 1, p. 14-21, 2012. ISSN 1536-1268.

CAMPOS, L. B. **Processo de engenharia de domínio para aplicações em cadeias de suprimentos que utilizam de identificação por radiofreqüência (RFID**). 2007. 115p Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2007.

CAMPOS, L. B.; CUGNASCA, C. E. Applications of RFID and WSNs technologies to Internet of Things. In: RFID, 2014 IEEE BRASIL, São Paulo. **Anais…** São Paulo: IEEE, set. 2014a, p.19-21.

_____. Towards an Adaptive Internet of Things Architecture. In: MEMÓRIAS DO VIII WORKSHOP DE TECNOLOGIA ADAPTATIVA – WTA 2014, 8., São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, fev. 2014b. pp. 35-39.

_____. Internet of Things Architectures: An Evaluation of Quality Attributes. In: 2014 IEEE NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SENSORS, SENSOR NETWORKS AND INFORMATION PROCESSING (ISSNIP), 2014, Cingapura. **Abstracts ...** Cingapura: IEEE, 2014c.

CATARINUCCI, Luca et al. RFID and WSNs for traceability of agricultural goods from Farm to Fork: electromagnetic and deployment aspects on wine test-cases. **Proceedings…** software, telecommunications and computer networks (SoftCOM), 2011 19th international conference on. IEEE, 2011. p. 1-4.

CHEUNG, A.; KAILING, K.; SCHONAUER, S. Theseos: a query engine for traceability across sovereign, distributed RFID databases. In: 2013 IEEE 29TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA ENGINEERING (ICDE), 2007, Istanbul. **Proceedings…** Istanbul: IEEE, 2007. p.1495-1496.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. Pearson UK, 2016. ISBN 1292083824.

CIMINO, M. G.; MARCELLONI, F. Enabling traceability in the wine supply chain. In: **Methodologies and Technologies for Networked Enterprises.** Springer Berlin Heidelberg, 2012. p.397-412.

CLEMENTS, P.; KAZMAN, R.; KLEIN, M. **Evaluating Software Architectures**. 2001.

COMMISSION, E. Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. **Official Journal of The European Communities L**, v. 31, n. 1, p. 1-24, 2002.

COSTA, W. S. **Dicionário de Logística GS1**. Comunicação e Eventos Corporativos: 222 p. 2010.

CROSSBOW TECHNOLOGY, INC**. ēKo Components**. San Jose, California. 4 p. (PN: 6020-0138-01, Rev. A). 2009

_____. Internet of Things in 2020. **A Roadmap for the Future**. Joint European Commission/EPoSS, 2008.

CUINAS, Inigo et al. Rfid-based traceability along the food-production chain [Wireless Corner]. **Antennas and Propagation Magazine, IEEE**, v. 56, n. 2, p. 196-207, 2014.

CUNHA, Carlos R. et al. The use of mobile devices with multi-tag technologies for an overall contextualized vineyard management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 73, n. 2, p. 154-164, 2010.

CURKENDALL, L. D.; PAPE, W. R. **Method and apparatus for a livestock data collection and management system**: Google Patents 2002.

DAS, R.; HARROP, P. **RFID forecasts, players and opportunities 2016-2026**. IDTechEx report, July. 2016. Disponível em: <http://www.idtechex.com/research/reports/rfid-forecasts-players-and-opportunities-2016-2026-000451.asp, 2016. Acesso em: 04 Out. 2017.

DOBRICA, L.; NIEMELA, E. A survey on software architecture analysis methods. **IEEE Transactions On Software Engineering**, v. 28, n. 7, p. 638-653, 2002. ISSN 0098-5589.

EMMERSON, B. M2M: the Internet of 50 billion devices. **WinWin Magazine**, v. 1 p. 19-22, 2010.

EPCGLOBAL, I. **The EPCglobal architecture framework**. EPCglobal Final Version, v. 1, n. 4, 2010.

EXPÓSITO, Isabel; CUIÑAS, Iñigo. Exploring the limitations on RFID technology in traceability systems at beverage factories. **International Journal of Antennas and Propagation**, v. 2013, 2013.

EXPÓSITO, Isabel; CUIÑAS, Iñigo. RFID readability around wine bottle boxes. **Proceedings…** 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. IEEE, 2015. p. 1756-1757.

EXPÓSITO, Isabel; CUIÑAS, Iñigo; GAY-FERNÁNDEZ, José Antonio. Efficient traceability solutions in the wine production by rfid and wsn. **Proceedings…** Antennas and Propagation (EuCAP), 2013 7th European Conference on. IEEE, 2013. p. 3539-3542.

FINKENZELLER, K.; WADDINGTON, R. **RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications.** Wiley New York, 1999. ISBN 0471988510.

FLORENTINO, G. H. et al. Hospital automation system RFID-based: Technology embedded in smart devices (cards, tags and bracelets). In: ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2008. EMBS 2008. 30th ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE, Vancouver. **Proceedings…** Vancouver: IEEE, ago. 2008. p.1455-1458.

FOSSO W, S. et al. Exploring the impact of RFID technology and the EPC network on mobile B2B eCommerce: A case study in the retail industry. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 2, p. 614-629, 2008. ISSN 0925-5273.

FUKATSU, T.; NANSEKI, T. Monitoring system for farming operations with wearable devices utilized sensor networks. **Sensors**, v. 9, n. 8, p. 6171-6184, 2009.

GARTNER's. **Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business**, 2014. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918>. Acesso em: 01 Out. 2017 .

GARTNER's. **Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor**, 2015. Disponível em: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217>. Acesso em 01 Out. 2017.

GARCIA, F. A. et al. A framework for measuring logistics performance in the wine industry. **International Journal of Production Economics**, v. 135, n. 1, p. 284-298, 2012. ISSN 0925-5273.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo,** v. 5, p. 61, 2002.

GIUSTO, D. **The Internet of Things: 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications**. Springer Science & Business Media, 2010. ISBN 1441916741.

GLISIC, S.; LORENZO, B. **Advanced Wireless Networks**, 4G technology, 2e John Wiley and Sons: London 2009.

GOMEZ, C.; PARADELLS, J. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. **IEEE Communications Magazine,** v. 48, n. 6, p. 92-101, 2010. ISSN 0163-6804.

GREENFIELD, A. **Everyware: The dawning age of ubiquitous computing**. New Riders Berkeley, 2006.

GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, 2013. ISSN 0167-739X.

GS1 System Architecture. **GS1 System Architecture. 2016**. Disponível em: <http://www.gs1.org/epcrfid-epcis-id-keys/epc-rfid-architecture-framework/1-7>. Acesso em: 12 Set. 2017.

HAMRITA, T.; HOFFACKER, E. C. Development of a" smart" wireless soil monitoring sensor prototype using RFID technology. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 21, n. 1, p. 139-143, 2005. ISSN 0883-8542.

HAN, J. et al. Survey on NoSQL database. In: PERVASIVE COMPUTING AND APPLICATIONS (ICPCA), 2011 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2011, Port Elizabeth. **Proceedings…** Port Elizabeth: IEEE, out. 2011. p.363-366.

HARROP, J.; HARROP, P.; PUGH, D. **Internet of Things (IoT) 2017-2027.** IDTechEx report, July. Disponível em: http://www.idtechex.com/research/reports/internet-of-things-iot-2017-2027-000499.asp , 2016. Acesso em 04 Out. 2017.

IEC, I. **ISO/IEC 25000 software engineering software product quality requirements and evaluation (SQuaRE) guide to SQuaRE**. Systems Engineering, v. 41, 2005.

IBRAVIN. **Exportações de vinhos brasileiros crescem 33% em valor no semestre**, 2016 Disponível em: http://www.ibravin.org.br/Noticia/exportacoes-de-vinhos-brasileiros-crescem-33-em-valor-no-semestre/170. Acesso em 04 Out. 2017.

ILIE-ZUDOR, E. et al. A survey of applications and requirements of unique identification systems and RFID techniques. **Computers in Industry**, v. 62, n. 3, p. 227-252, 2011. ISSN 0166-3615.

INTELLIGENCE, S. C. B. **Disruptive Civil Technologies**. Six technologies with potential impacts on US interests out to, v. 2025, 2008.

ISASI, A. et al. Location, tracking and identification with RFID and vision data fusion. In: SMART OBJECTS: SYSTEMS, TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS (RFID SYS TECH), 2010 EUROPEAN WORKSHOP ON, 2010, Ciudad. **Proceedings...** Ciudad: IEEE, jun. 2010. p.1-6.

ISO, I. **IEEE: 42010: 2011 Systems And Software Engineering, Architecture Description**. International Standard, 2011.

ISO, **International Standard: Quality Management and Quality Assurance – Vocabulary**. Geneva, Switzerland 1994.

JEDERMANN, R.; RUIZ-GARCIA, L.; LANG, W. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 65, n. 2, p. 145-154, 2009. ISSN 0168-1699.

KAZMAN, R. et al. SAAM: A method for analyzing the properties of software architectures. In: 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING, 1994, Sorrento. **Proceedings…** Sorrento: IEEE, mai. 1994. p.81-90.

KEELE, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In: (Ed.). **Technical Report**, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE, 2007.

KIM, H. S.; SOHN, S. Y. Cost of ownership model for the RFID logistics system applicable to u-city. **European Journal of Operational Research**, v. 194, n. 2, p. 406-417, 2009. ISSN 0377-2217.

KRUCHTEN, P.; OBBINK, H.; STAFFORD, J. The past, present, and future for software architecture. **Proceedings…** Software, IEEE, v. 23, n. 2, p. 22-30, 2006. ISSN 0740-7459.

LATOUCHE, K.; RAINELLI, P.; VERMERSCH, D. Food safety issues and the BSE scare: some lessons from the French case. **Food Policy**, v. 23, n. 5, p. 347-356, 1998. ISSN 0306-9192.

LUVISI, A. et al. Virtual vineyard for grapevine management purposes: A RFID/GPS application. **Computers and Electronics In Agriculture**, v. 75, n. 2, p. 368-371, 2011. ISSN 0168-1699.

_____. RFID microchip internal implants: effects on grapevine histology. **Scientia Horticulturae**, v. 124, n. 3, p. 349-353, 2010. ISSN 0304-4238.

_____. Implanting RFIDs into< i> Prunus</i> to facilitate electronic identification in support of sanitary certification. **Biosystems Engineering**, v. 109, n. 2, p. 167-173, 2011. ISSN 1537-5110.

_____. Radiofrequency applications in grapevine: From vineyard to web. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 1, p. 256-259, 2010. ISSN 0168-1699.

MACHADO, J.; NANTES, J. F. D. a. **A Visão Institucional do Processo de Rastreabilidade da Carne Bovina**: Capturado em 2007.

MAHLKNECHT, S.; MADANI, S. A. On architecture of low power wireless sensor networks for container tracking and monitoring applications. In: INDUSTRIAL INFORMATICS, 2007 5TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2007, Vienna. **Proceedings…** Vienna: IEEE, jun. 2007. p.353-358.

MAI, N. T. T. et al. Temperature mapping of fresh fish supply chains–air and sea transport. **Journal of Food Process Engineering**, v. 35, n. 4, p. 622-656, 2012. ISSN 1745-4530.

MAINETTI, L.; PATRONO, L.; VILEI, A. Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. In: SOFTWARE, TELECOMMUNICATIONS AND COMPUTER NETWORKS (SOFTCOM), 2011 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2011, Split. **Proceedings…** Split: IEEE, set. 2001. p.1-6.

MCBRATNEY, A. et al. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 7-23, 2005. ISSN 1385-2256.

MENEGUZZO, J., LUCIANORIZZON, LUIZ ANTENOR**. Sistema de Produção de Vinho Tinto**. Sistemas de Produção, 2006.

NAMBIAR, A. N. RFID technology: A review of its applications. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2009, San Francisco. **Proceedings…** San Francisco: IEEE, out. 2009. p.20-22.

NGAI, E. W. et al. Design of an RFID-based healthcare management system using an information system design theory. **Information Systems Frontiers**, v. 11, n. 4, p. 405-417, 2009. ISSN 1387-3326.

OGASAWARA, A.; YAMASAKI, K. A temperature-managed traceability system using RFID tags with embedded temperature sensors. **NEC Technical Journal**, v. 1, n. 2, p. 82-86, 2006.

PANG, Z.; TIAN, J.; CHEN, Q. Intelligent packaging and intelligent medicine box for medication management towards the Internet-of-Things. In: ADVANCED COMMUNICATION TECHNOLOGY (ICACT), 2014 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2014, Pyeongchang. **Proceedings…** Pyeongchang: IEEE, fev. 2014. p.352-360.

PANG, Z. et al. Design of a terminal solution for integration of in-home health care devices and services towards the Internet-of-Things. **Enterprise Information Systems**, v. 9, n. 1, p. 86-116, 2015.

PAPADIMITRIOU, D. Future Internet–the cross-ETP vision document. **European Technology Platform,** Alcatel Lucent, v. 8, 2009.

PEREZ-ALOE, R. et al. Application of RFID tags for the overall traceability of products in cheese industries. **RFID Eurasia, 2007 1st Annual**, IEEE. p.1-5, 2007.

PETERS, R. et al. Inventory of Nanotechnology applications in the agricultural, feed and food sector. **EFSA Supporting Publications**, v. 11, n. 7, 2014. ISSN 2397-8325.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in agronomy**, v. 67, p. 1-85, 1999. ISSN 0065-2113.

PING, L. et al. Agile supply chain management over the internet of things. In: MANAGEMENT AND SERVICE SCIENCE (MASS), 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2011, Wuhan. **Proceedings…** Wuhan : IEEE, ago. 2011. p.1-4.

PORTO, L. F. D. A.; LOPES, M. A.; ZAMBALDE, A. L. Desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade aplicado à cadeia de produção do vinho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1310-1319, 2007. ISSN 1413-7054.

PRESA-OWENS, C. D. L.; NOBLE, A. C. Effect of storage at elevated temperatures on aroma of Chardonnay wines. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 48, n. 3, p. 310-316, 1997. ISSN 0002-9254.

PRESSER, M. et al. The SENSEI project: integrating the physical world with the digital world of the network of the future. **Communications Magazine**, IEEE, v. 47, n. 4, p. 1-4, 2009. ISSN 0163-6804.

PÉREZ-COELLO, M. S. et al. Influence of storage temperature on the volatile compounds of young white wines. **Food Control**, v. 14, n. 5, p. 301-306, 2003. ISSN 0956-7135.

RAAB, V.; PETERSEN, B.; KREYENSCHMIDT, J. Temperature monitoring in meat supply chains. **British Food Journal**, v. 113, n. 10, p. 1267-1289, 2011. ISSN 0007-070X.

ROBERT, P. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. **Plant and soil**, v. 247, n. 1, p. 143-149, 2002. ISSN 0032-079X.

ROMAN, R.; ZHOU, J.; LOPEZ, J. On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. **Computer Networks**, v. 57, n. 10, p. 2266-2279, 2013. ISSN 1389-1286.

ROUSSOS, G.; KOSTAKOS, V. RFID in pervasive computing: state-of-the-art and outlook. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 5, n. 1, p. 110-131, 2009. ISSN 1574-1192.

RUIZ-GARCIA, L.; LUNADEI, L. The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 79, n. 1, p. 42-50, 10// 2011. ISSN 0168-1699.

SCHAFFERS, H. et al. Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation. **The Future Internet**, p. 431-446, 2011. ISBN 3642208975.

SIEGEL, A. C. et al. Foldable printed circuit boards on paper substrates. **Advanced Functional Materials**, v. 20, n. 1, p. 28-35, 2010. ISSN 1616-3028.

SILVA, R. F.; CAMPOS, L. B.; CUGNASCA, C. E. Modelo de Rastreabilidade da Cadeia do Vinho para Exportação Utilizando Redes de Sensores Sem Fio e RFID. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA. Cuiabá, Mato Grosso. **Anais...** Cuiabá: SBIAGRO, 2013. p. 1-5.

SIMS, C.; MORRIS, J. Effects of pH, sulfur dioxide, storage time, and temperature on the color and stability of red muscadine grape wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 35, n. 1, p. 35-39, 1984. ISSN 0002-9254.

SIROR, J. K. et al. Use of RFID technologies to combat cattle rustling in the East Africa. In: INC, IMS and IDC, 2009. NCM '09. Fifth International Joint Conference on, Seoul. **Proceedings…** Seoul: IEEE, ago. 2009. p.1556-1562.

SMITH, I. G. **The Internet of Things 2012: New Horizons**. CASAGRAS2, 2012. ISBN 0955370795.

SOBRINHO, O. G.; CUGNASCA, C. E. Rastreabilidade na cadeia de suprimentos do vinho. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 7, n. 1, p. 44-57, 2004.

SOBRINHO, O. G. **Modelagem de um sistema de informação para rastreabilidade na indústria vinícola baseado em uma arquitetura orientada a serviços.** 2008. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SOBRINHO, O. G.; CUGNASCA, C. E. An overview of the EPCglobal network. **IEEE Latin America Transactions**, v. 11, n. 4, p. 1053-1059, 2013. ISSN 1548-0992.

SOBRINHO, O. G. et al. Modelagem de um sistema de informação para rastreabilidade na indústria do vinho baseado em uma arquitetura orientada a serviços. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 100-109, 2010. ISSN 0100-6916. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000100011&nrm=iso >.

SONG, J. et al. Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects. **Automation in Construction**, v. 15, n. 2, p. 166-177, 2006. ISSN 0926-5805.

SOMMERVILLE I. **Engenharia de Software**. São Paulo: Addison Wesley; 2003.

SOUZA, I.R.C.; CAMPOS, L. B.; CUGNASCA, C.E. Integração de Redes de Sensores Sem Fio a Sistemas de Informação para Rastreabilidade do Vinho. In: XI Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2017, **Anais...** Campinas. XI Congresso Brasileiro de Agroinformática. Campinas, 2017 (*no prelo*).

SOUZA, I.R.C. et al. AgrônomoBot: um ChatBot para exibição de dados de uma RSSF EKO aplicado em agricultura de precisão. In: XI Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2017, **Anais...** Campinas. XI Congresso Brasileiro de Agroinformática. Campinas, 2017 (*no prelo*).

SRINIVASAN, A. **Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications**. Food Products Press, 2006.

STAFF, C. **Food Giant Nestle Recalls Products After Horse Meat Discovery**, 2013. Disponível em: http://edition.cnn.com/2013/02/18/world/europe/nestle-horse-meat-discovery. Acesso em 04 Out. 2017.

STAFFORD, J. V. The role of technology in the emergence and current status of precision agriculture. **Handbook of Precision Agriculture, Principles and Aplications**, p. 19-56, 2006.

STANEV, D. A., SOUSA, F. T. GONZALEZ, J. L. S. **Portal de Rastreabilidade do Vinho.** 2007. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STRATEGY, I.; UNIT, P. **ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things**. Geneva: International Telecommunication Union (ITU), 2005.

SUBRAMANIAM, S. et al. Online outlier detection in sensor data using non-parametric models. In: 32nd international conference on Very large data bases, **Proceedings…** 2006, VLDB Endowment. p.187-198.

SUNDMAEKER, H. et al. Vision and challenges for realising the Internet of Things. **Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commision**, v. 3, n. 3, p. 34-36, 2010.

TOSCHI, G. M.; CAMPOS, L. B.; CUGNASCA, C. E. Home automation networks: A survey. **Computer Standards & Interfaces**, v. 50, p. 42-54, 2017. ISSN 0920-5489.

THIESSE, F.; FLEISCH, E. On the value of location information to lot scheduling in complex manufacturing processes. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 2, p. 532-547, 2008. ISSN 0925-5273.

TREVARTHEN, A. The National Livestock Identification System: The Importance of Traceability in E-Business. **JTAER**, v. 2, n. 1, p. 49-62, 2007.

UCKELMANN, D.; HARRISON, M.; MICHAHELLES, F. **An Architectural Approach Towards the Future Internet of Things**. In: (Ed.). Architecting the Internet of Things: Springer, 2011. p.1-24. ISBN 3642191568.

UDDENFELDT, J. **Challenges of Future Internet Mobile Perspectives**. Slovenia 2008.

VELLIDIS, G. et al. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 61, n. 1, p. 44-50, 2008. ISSN 0168-1699.

VERMESAN, O. et al. Internet of things strategic research roadmap. **Internet of Things: Global Technological and Societal Trends,** p. 9-52, 2011.

VILICIC, F. A Revolução da Internet das Coisas. **Veja**, São Paulo, ed. 2357, p. 61-67 jan. 2014.

VOULODIMOS, A. S. et al. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 380-388, 2010. ISSN 0168-1699.

WALEWSKI, J. W. **Initial Architectural Reference Model for IoT**. EC FP7 IoT-A (257521) D, v. 1, p. 2, 2011.

WANG, Y. et al. Study on vehicle management in logistics based on RFID, GPS and GIS. **International Journal of Internet Manufacturing and Services,** v. 1, n. 3, p. 294-304, 2008. ISSN 1751-6048.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **Scientific American**, v. 265, n. 3, p. 94-104, 1991. ISSN 0036-8733.

WILSON, J. S. **Sensor Technology Handbook**. Newnes, 2004. ISBN 0080480845.

WU, N. C. et al. **Challenges to Global RFID Adoption**. Technovation, v. 26, n. 12, p. 1317-1323, 12// 2006. ISSN 0166-4972. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016649720500146X >.

YAN, M. et al. **The Application of the Internet of Things in Agriculture**. 2011 International Conference on Future Computers in Education (Icfce 2011), Vol I, p. 232-235, 2011 2011.

YAN-E, D. Design of Intelligent Agriculture Management information system based on IoT. In: Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2011 **Proceedings…** IEEE. p.1045-1049.

YANG, I. et al. RFID-integrated multi-functional remote sensing system for seedling production management. ASABE Annual International Meeting, **Proceedings…** 2008.

ZHANG, F. **Research on Applications of Internet of Things in Agriculture**. In: (Ed.). Informatics and Management Science VI: Springer, 2013. p.69-75. ISBN 1447148045.

ZHANG, Y.; MERATNIA, N.; HAVINGA, P. Outlier detection techniques for wireless sensor networks: A survey**. IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 12, n. 2, p. 159-170, 2010. ISSN 1553-877X.

ZHAO, J.-C. et al. The study and application of the IOT technology in agriculture. Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International Conference on, **Proceedings…** 2010, IEEE. p.462-465.

ZHENG, L. et al. **Technologies, applications, and governance in the Internet of Things. Internet of things-Global technological and societal trends**. From smart environments and spaces to green ICT, 2011.

ZHU, Q. et al. Iot gateway: Bridgingwireless sensor networks into internet of things. Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2010 IEEE/IFIP 8th International Conference on, **Proceedings…** 2010, IEEE. p.347-352.

ZHU, X.; MUKHOPADHYAY, S. K.; KURATA, H. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. Journal of Engineering and Technology Management, v. 29, n. 1, p. 152-167, **Proceedings…** 2012. ISSN 0923-4748.

ZANELLA, A. et al. Internet of Things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, 2014. ISSN 2327-4662.

APÊNDICE A – SCRIPTS DE ENVIO OS DADOS PARA O SERVIÇO WEB

```
# Script sincronismo de dados dos sensores
import sqlite3
import requests
import json

conn = sqlite3.connect('/usr/xbow/xserer/sys/xserve_sqlite.db')
cursor = conn.cursor()

cursor.execute(""" SELECT * FROM eS1100_sensor_results_l """)

for linha in cursor.fetchall():
    result_time = linha[0]
    nodeId = linha[1]
    soilMoisture = round(linha[2],2)
    json_default = {"data": result_time,  "noid": nodeId ,  "umidadeintsolo": soilMoisture}
    headers = {'Content-type': 'application/json', 'Accept': 'text/plain'}
    r = requests.post('http://ipservidor:2500/v1/registros/es1100',
data=json.dumps(json_default), headers = headers)
    print(r)

cursor.execute(""" SELECT * FROM eS1110_sensor_results_l """)

for linha in cursor.fetchall():
    result_time = linha[0]
    nodeId = linha[1]
    soilWaterContent = round(linha[2],2)
    json_default = {"data": result_time,  "noid": nodeId ,  "umidadeex": soilMoisture}
    headers = {'Content-type': 'application/json', 'Accept': 'text/plain'}
    r = requests.post('http://ipdoservidor:2500/v1/registros/es1110',
data=json.dumps(json_default), headers = headers)
    print(r)

cursor.execute(""" SELECT * FROM eS1201_sensor_results_l """)

for linha in cursor.fetchall():
     result_time = linha[0]
     nodeId = linha[1]
     humidity = linha[2]
     temperature = linha[3]
     dewPoint = linha[4]
     json_default = {"data": result_time, "noid": nodeId , "umidade": humidity,
"temperatura": temperature,
      "pontoorvalho": dewPoint }
     headers = {'Content-type': 'application/json', 'Accept': 'text/plain'}
     r = requests.post('http://ipdoservidor:2500/v1/registros/es1201',
data=json.dumps(json_default), headers = headers)
     print(r)
```

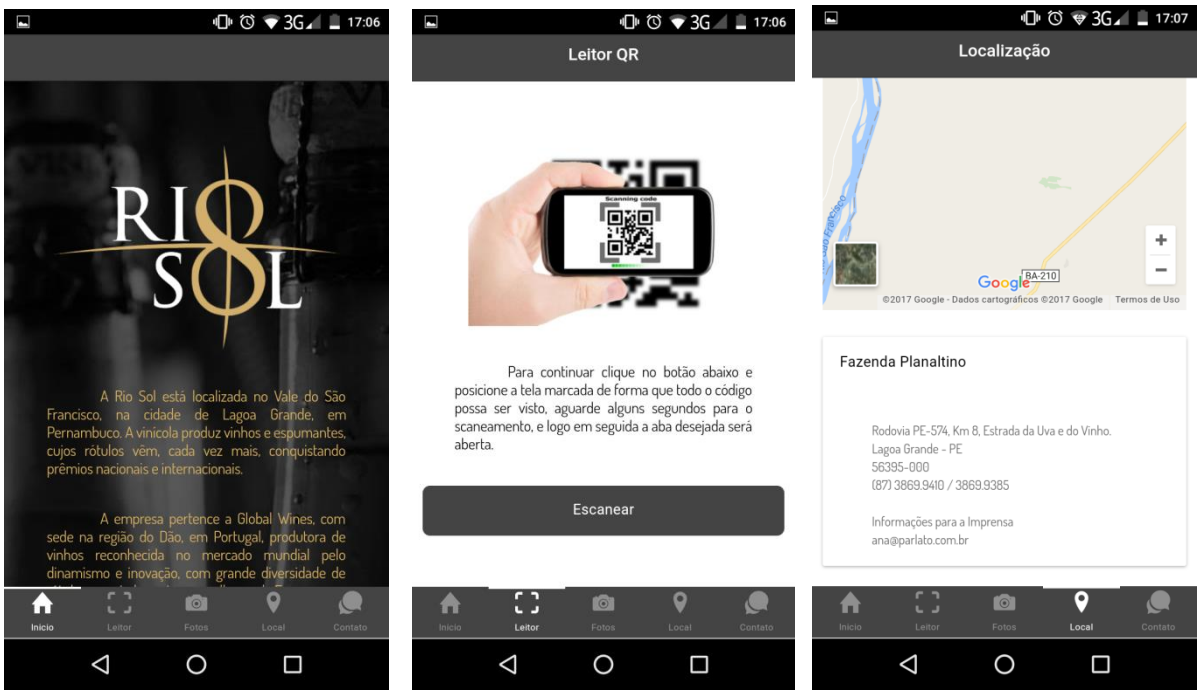
```
cursor.execute(""" SELECT * FROM eS1301_sensor_results_l """)
for linha in cursor.fetchall():
    result_time = linha[0]
    nodeId = linha[1]
    leafWetness = linha[2]
    json_default = {"data": result_time, "noid": nodeId , "moliamentofoliar": leafWetness}
    headers = {'Content-type': 'application/json', 'Accept': 'text/plain'}
    r = requests.post('http://ipdoservidor:2500/v1/registros/es1301', data=json.dumps(json_default), headers = headers)
    print(r)

cursor.execute(""" SELECT * FROM eS1401_sensor_results_l """)
for linha in cursor.fetchall():
    result_time = linha[0]
    nodeId = linha[1]
    solarRadiation = linha[2]
    json_default = {"data": result_time, "noid": nodeId , "radiacaosolar": solarRadiation}
    headers = {'Content-type': 'application/json', 'Accept': 'text/plain'}
    r = requests.post('http://ipdoservidor:2500/v1/registros/es1401', data=json.dumps(json_default), headers = headers)
    print(r)
conn.close()
```

APÊNDICE B – APLICATIVO PARA O ENOTURISMO

Esse apêndice apresenta uma implementação adjacente à tese. Trata-se de um aplicativo para dispositivos móveis para apoiar a atividade de enoturismo dentro das instalações da Vinícola Rio Sol.

Para o desenvolvimento da aplicação foi escolhida a plataforma Ionic Framework (versão 1), ferramenta gratuita que utiliza tecnologia web como HTML, CSS e Javascript para desenvolver aplicações nativas Android. O framework usa, para isso, AngularJs e Cordova.

A equipe de desenvolvedores optou pelo uso de códigos QR pela acessibilidade desses, uma vez que necessita apenas da câmera do dispositivo. Um *plugin* disponibilizado por Matt Kane em 2010 para Cordova e Phonegap no Github possibilitou o funcionamento da aplicação de forma fluida e com ótimo alcance de leitura.

Foi acrescentado ao projeto original a funcionalidade de captura de imagens e seleção delas para melhorar a experiência da visita à vinícola, assim como uma página para localização da fazenda por GPS e endereço e uma página que permite o envio de feedback sobre o passeio para a empresa. A seguir imagens das telas do aplicativo descrito: