

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MÁRCIO SPENST**

**PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UMA  
SOLUÇÃO BASEADA EM FOG  
COMPUTING PARA A PECUÁRIA  
LEITEIRA DE PRECISÃO**

**Bagé  
2021**

**MÁRCIO SPENST**

**PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UMA  
SOLUÇÃO BASEADA EM FOG  
COMPUTING PARA A PECUÁRIA  
LEITEIRA DE PRECISÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Leonardo Bidese de Pinho  
Coorientador: Marcos Jun-Iti Yokoo

**Bagé  
2021**

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

S748p Spenst, Márcio

PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO BASEADA EM FOG COMPUTING PARA A PECUÁRIA LEITEIRA DE PRECISÃO / Márcio Spenst.

84 f.: il.

Orientador: Leonardo Bidese de Pinho  
Coorientador: Marcos Jun-Iti Yokoo  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, 2021.

1. Cadeia do Leite. 2. Sensores e Atuadores.  
3. Cloud-fog-thing. 4. Redes Veiculares.  
I. Título.

**MÁRCIO SPENST**

**PROPOSTA E AVALIAÇÃO DE UMA  
SOLUÇÃO BASEADA EM FOG  
COMPUTING PARA A PECUÁRIA  
LEITEIRA DE PRECISÃO**

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

Área de concentração: Tecnologias para a Produção Agropecuária

Dissertação defendida e aprovada em: 6 de Maio de 2021.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Leonardo Bidese de Pinho

Orientador

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Gerson Alberto Leiria Nunes

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Jorge Luiz Sant'Anna dos Santos

EMBRAPA

---



Assinado eletronicamente por **LEONARDO BIDESE DE PINHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/06/2021, às 08:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **ERICO MARCELO HOFF DO AMARAL, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/06/2021, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



Assinado eletronicamente por **GERSON ALBERTO LEIRIA NUNES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/06/2021, às 10:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0554741** e o código CRC **C5F5A175**.

---

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço, em especial, ao Prof. Dr. Leonardo Bidese de Pinho, pela orientação, dedicação e estímulo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcos Jun-Iti Yokoo, pela coorientação e suas colaborações.

Agradeço à pesquisadora Ma. Renata Wolf Sune, pelas colaborações e auxílio na condução deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e ao meu sobrinho, pela oportunidade e incentivo na realização dos experimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da UNIPAMPA e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Pecuária Sul.

Ao IFSUL pelo incentivo à qualificação de seus servidores.

## RESUMO

O trabalho parte de uma pesquisa exploratória apresentando os desafios da concepção de um modelo de sistema computacional escalável e distribuído, aplicado à gestão e qualificação de processos existentes na cadeia do leite, objetivando o auxílio tanto para a indústria quanto ao produtor na recepção e produção da matéria-prima. Apresenta ainda um modelo baseado em uma arquitetura *cloud-fog-thing*, prevendo diferentes tipos de dispositivos finais microcontrolados, de baixo custo e baixa capacidade de processamento, instalados no sistema de ordenha (sala de ordenha e sala de máquinas), compostos por sensores e atuadores, capazes de se comunicar, de forma oportunística, com dispositivos móveis de capacidade intermediária presentes na camada 'fog', bem como explorando mecanismos de comunicação veicular e de redes tolerantes a atrasos para comunicação nas diferentes camadas. Resultados amparados pela metodologia de estudo de caso, indicam que as tecnologias podem auxiliar os produtores e a indústria de laticínios a produzir seus produtos com qualidade, de acordo com a exigência da legislação em vigor. Estes resultados reforçam o potencial da solução proposta, evidenciando a relevância do estudo de caso com a coleta dos dados, permitindo assim verificar o desempenho da solução em cenários realísticos. Conforme os experimentos realizados em uma propriedade rural e a análise dos dados, o modelo proposto demonstrou ser eficaz e capaz de coletar algumas variáveis da produção de leite e propagar estas informações tanto em propriedades com baixa ou nenhuma conectividade.

**Palavras-chave:** Cadeia do Leite. Sensores e Atuadores. Cloud-fog-thing. Redes Veiculares.

## ABSTRACT

The work is part of an exploratory research presenting the challenges of designing a scalable and distributed computer system model, applied to the management and qualification of processes existing in the milk chain, aiming at helping both the industry and the product in receiving and producing the milk feedstock. It also presents a model based on a cloud-fog-thin architecture, providing different types of microcontrolled final devices, of low cost and low processing capacity, installed in the milking system (milking room and machine room), composed of sensors and actuators, capable of communicating, in an opportunistic way, with mobile devices of intermediate capacity present in the 'fog' layer, as well as exploring vehicle communication mechanisms and delay-tolerant networks for communication in the different layers. Results supported by the case study methodology, indicate that the technologies can help producers and the dairy industry to produce their products with quality, in accordance with the requirements of the legislation in force. These results reinforce the potential of the proposed solution, evidencing the relevance of the case study with data collection, thus allowing to verify the solution's performance in realistic scenarios. According to the experiments carried out on a rural property and the data analysis, the proposed model proved to be effective and capable of collecting some variables of milk production and propagating this information both in properties with low or no connectivity.

**Keywords:** Milk supply chain. Sensors and Actuators. Cloud-fog-thin. Vehicular networks.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de comunicações em redes VANET.....	24
Figura 2	Perda de comunicação em VANET .....	25
Figura 3	Troca de dados com MQTT.....	28
Figura 4	Sensor DS18B20 conectado ao <i>Raspberry</i> .....	30
Figura 5	Arquitetura de rede proposta .....	31
Figura 6	Arquitetura proposta .....	33
Figura 7	Eventos no processo de ordenha.....	34
Figura 8	Sala de ordenha.....	37
Figura 9	Pré-tanque .....	38
Figura 10	Tanque de resfriamento.....	39
Figura 11	Régua e tabela de conversão .....	41
Figura 12	Modelo proposto .....	42
Figura 13	Sensores .....	43
Figura 14	Camada <i>Fog Computing</i> .....	44
Figura 15	<i>Vanet</i> /DTN .....	46
Figura 16	Protótipo de monitoramento de temperatura do resfriador de leite .....	48
Figura 17	Protótipo de monitoramento utilizando <i>Raspberry</i> .....	50
Figura 18	Arduino conectado ao <i>Raspberry</i> PI 3 .....	51
Figura 19	Arquivo texto armazenado no cartão SD .....	56
Figura 20	Dados coletados em três intervalos de tempo.....	58
Figura 21	Dados coletados em quatro intervalos de tempo .....	60
Figura 22	Ciclo de ordenha até a coleta .....	61
Figura 23	Ciclo de ordenha até a coleta.....	62
Figura 24	Histograma comparativo das etapas 2 e 3.....	63
Figura 25	Ciclo ordenha-coleta-ordenha.....	67
Figura 26	Segundo ciclo ordenha-coleta-ordenha.....	69
Figura 27	Sensor pH na unidade de ordenha .....	74
Figura 28	Arquivo utilizado para teste de conexão <i>Bluetooth</i> .....	75
Figura 29	MQTT .....	77
Figura 30	Esquema MQTT .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparativo entre os trabalhos correlatos .....	35
Tabela 2	Classe de desempenho .....	39
Tabela 3	Descrição dos dados coletados .....	45
Tabela 4	Dados da entrega do leite na indústria.....	47
Tabela 5	Placas e sensores.....	49
Tabela 6	Dados coletados pela parte da manhã.....	57
Tabela 7	Dados coletados na parte da tarde/noite .....	59
Tabela 8	Dados coletados na parte da manhã.....	64
Tabela 9	Dados coletados na parte da tarde/noite .....	65
Tabela 10	Ciclo de ordenha-coleta-ordenha.....	66
Tabela 11	Segundo ciclo de ordenha-coleta-ordenha.....	68
Tabela 12	Medidas e quantidade de leite em litros .....	71
Tabela 13	Taxa de transferência dos dados .....	76
Tabela 14	Tempo de transferência dos dados.....	76
Tabela 15	Placas e sensores.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BBR	Border Node Based Routing
BLE	Bluetooth Low Energy
CBT	Contagem Bacteriana Total
CCS	Contagem de Células Somáticas
CS/ml	Células Somáticas por Mililitro
CPP	Contagem Padrão em Placas
DSRC	Dedicated Short-Range Communications
DTN	Delay Tolerant Networking
IN	Instrução Normativa
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITS	Sistema de Transporte Inteligente
Iot	Internet Of Things
LINA	Leite Instável Não Ácido
LoRa	Long Range
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
MANET	Redes Móveis Ad Hoc
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
OBU	On Board Unit
pH	Potencial Hidrogeniônico
PDF	Precision Dairy Farming
PNQL	Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite
QoS	Quality of Service

RBQL	Rede Brasileira de Laboratórios de Controle de Qualidade do Leite
RSU	Road Side Unit
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UFC/ml	Unidades Formadoras de Colônias por Mililitro
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa
VANET	Vehicular Ad hoc Network
V2V	Vehicle to Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure
WPAN	Personal Area Network

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 Problema de Pesquisa	16
1.2 Objetivos	17
1.3 Etapas	17
1.3.1 Primeira Etapa	17
1.3.2 Segunda Etapa	18
1.4 Organização do texto	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1 Pecuária Leiteira	20
2.1.1 Qualidade do Leite	21
2.2 Tecnologias Computacionais Aplicáveis à Pecuária de Precisão	22
2.2.1 Fog Computing	23
2.2.2 VANET - Vehicular ad-hoc Network	23
2.2.3 Redes sem Fio	26
2.2.3.1 Bluetooth	27
2.2.3.2 ZigBee	27
2.2.3.3 LoRaWAN	27
2.2.4 Message Queue Telemetry Transport (MQTT)	28
2.3 Trabalhos Relacionados	29
<b>3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ORDENHA</b>	<b>36</b>
3.1 Processo de Ordenha	36
3.2 Sala de Ordenha	36
3.3 Tanque de Resfriamento	38
3.4 Coleta do Leite	40
<b>4 SOLUÇÃO PROPOSTA</b>	<b>42</b>
4.1 Nós Sensores	42
4.2 Dispositivo Fog	44
4.3 Comunicação entre Camadas - VANET/DTN	46
4.4 Nuvem	47
4.5 Implementação do Protótipo	47
<b>5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>	<b>52</b>
5.1 Sensor Temperatura e Ultrassônico	52
5.2 Sensor de Consumo de Energia e pH	53
5.3 Testes de Conexões/Transferências	54
5.4 Protocolo MQTT	55
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>56</b>
6.1 Sensor Temperatura do Leite	56
6.2 Sensor Ultrassônico	71
6.3 Sensor de Consumo de Energia	73
6.4 Sensor de pH	73
6.5 Testes de Conexão	74
6.6 Protocolo MQTT	77
<b>7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária no Rio Grande do Sul contribui significativamente para o desenvolvimento do estado, com a criação de bovinos, ovinos e suínos. A pecuária se desenvolve principalmente nas regiões mais afastadas da capital do estado. Muitas vezes os pecuaristas precisam lidar com a falta de chuva, de pasto no inverno, trazendo ocasionalmente prejuízo aos mesmos. Apesar dos problemas enfrentados a pecuária vem crescendo, muitas vezes sendo sustentadas por pequenos e médios produtores.

O Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor de leite do país, produzindo em torno de 4,5 bilhões de litros anualmente. A maior parte dos produtores de leite utilizam pastagens para a alimentação do gado leiteiro. Em relação ao rebanho leiteiro no Rio Grande do Sul, a maioria das vacas é da raça Holandesa (EMATER, 2017). Nos últimos anos, a produção de leite no estado vem sofrendo uma redução de números de produtores, devido ao baixo preço pago e os altos custos de produção, aqueles que permanecem na atividade, investem cada vez mais em tecnologias para garantir a qualidade do produto com menor custo (RIES, 2019).

De modo a normatizar alguns pontos críticos da cadeia produtiva, o Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite (PNQL) foi implementado em 1996 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com o objetivo de elaborar, diagnosticar e formular estratégias para a melhoria da qualidade do leite. A correta refrigeração do leite após a ordenha é de fundamental importância para uma boa qualidade do mesmo.

A Instrução Normativa (IN) 76/2018 que regulamenta a qualidade do leite cru refrigerado, diz que no momento do recebimento do produto no laticínio, a temperatura do mesmo deve estar em 7 °C, excepcionalmente admitindo o recebimento em até 9 °C (BRASIL, 2018a). A nova exigência está preocupando muitos produtores de leite, devido ao fato de as propriedades produtoras de leite estarem localizadas distante dos laticínios. Geralmente as estradas até as propriedades não estão em boas condições, na grande maioria das vezes em estado precário de trafegabilidade, de modo que existe uma preocupação de que os laticínios precisarão investir em mais caminhões para realizar a coleta do leite ou ainda reformular as rotas, devido ao fato de a Instrução Normativa estar mais exigente quanto à temperatura do leite armazenado no tanque do caminhão na chegada ao laticínio. Como resultado, vislumbra-se uma tendência excludente, isto é, um cenário no qual pequenos produtores podem acabar sendo excluídos da cadeia produtiva.

Por outro lado, a Instrução Normativa 77/2018, regulamenta que o leite ordenhado e armazenado em tanque de expansão direta, deve atingir a temperatura de 4 °C em até 3 horas após a ordenha. Além disso, regulamenta que o leite estocado nos tanques de refrigeração deve ser amostrado pelo responsável pela coleta, para análises em laboratório da Rede Brasileira de Laboratórios de Controle de Qualidade do Leite (RBQL), com uma frequência mínima mensal para avaliar parâmetros tais como: teor de gordura, contagem de células somáticas, contagem padrão em placas e resíduos de produtos de uso veterinário. Caso apresentem resultados fora do padrão por 3 meses consecutivos, deve ser interrompido o recolhimento do leite da propriedade (BRASIL, 2018b).

Destacam-se como principais métricas de qualidade apontadas na IN 77/2018 a Contagem Bacteriana Total (CBT) na fazenda e a temperatura do leite na indústria. Contudo, percebe-se que a cadeia do leite, de forma geral, não está preparada para atender a estes requisitos normativos impostos para melhorar a qualidade. Ou seja, há necessidade de investimento em equipamentos e melhorias de processos produtivos capazes de atingir os níveis adequados, o que, por outro lado, tenderá a implicar em maior remuneração ao produtor. Caso não ocorra o investimento, o produtor poderá sair do mercado pela baixa qualidade do leite produzido (SANTIAGO, 2019).

A partir deste contexto normativo, nota-se que uma das dificuldades na fase inicial da cadeia produtiva do leite é a necessidade de refrigeração, que possui dois objetivos principais: a inibição da multiplicação bacteriana e o aumento do tempo de armazenamento no local de ordenha, de modo a reduzir os custos de transporte até a indústria de laticínios. Após seguir todos os procedimentos de ordenha e higiene, o rápido resfriamento do leite para 4 °C é a melhor maneira de evitar o crescimento de micro-organismos e alterações químicas. O tempo de resfriamento para atingir a temperatura de armazenamento, normalmente em 4 °C, também é um fator crítico. Os tanques de resfriamento a granel foram especialmente projetados para resfriar o leite a 4 °C em um período máximo de 3 horas (DELAVAL, 2018b).

Outra preocupação dos produtores é em relação ao Leite Instável Não Ácido (LINA), que é uma alteração na qualidade do leite resultado do desequilíbrio no sistema de produção (ZANELA; RIBEIRO, 2018). A IN 77/2018 regulamenta que o transportador deve realizar o teste de Álcool/Alizarol no momento da coleta na propriedade rural e deixar de recolher o leite caso não atenda à exigência quanto ao teste, que na mesma IN diz que teste do Álcool/Alizarol na concentração mínima de 72% v/v (setenta e dois por cento volume/volume) (BRASIL, 2018b).

Ainda de acordo com Zanela e Ribeiro (2018) a prova do alizarol pode causar dúvidas na avaliação do resultado, pois em casos de pH extremos a mudança de coloração, quando aplicado a um leite próxima da sua faixa normal (6,6 a 6,8) é pequena.

Portanto, conclui-se que há necessidade de investimentos contínuos em boas práticas para prevenção da contaminação e do crescimento microbiano na cadeia produtiva do leite para reduzir problemas tecnológicos e econômicos na indústria de laticínios. Para Batalha (2007) a cadeia de produção pode ser entendida como “uma sucessão de operações de transformações dissociáveis, capazes de ser separadas e ligadas entre si por um encadeamento técnico”. Logo, há necessidade e oportunidade para qualificar diferentes etapas do processo da cadeia do leite, em especial as compreendidas entre a ordenha e o recebimento do produto no laticínio, por meio do desenvolvimento de tecnologias no contexto de Pecuária Leiteira de Precisão, também reconhecida pelo termo em inglês *Precision Dairy Farming* (PDF).

De acordo com Pereira et al. (2015), PDF é definida como uma tecnologia para melhorar o controle da variabilidade animal e espacial, visando principalmente a economia social e ambiental. Tecnologias de precisão podem utilizar sensores, para mensurar variáveis de alguma situação em especial, gerando assim, informações que visam um aconselhamento, uma tomada de decisão. Ainda de acordo com Pereira et al. (2015), o uso da PDF contribui para uma produção de qualidade e a segurança do produto entregue ao laticínio.

Para Machado e Nante (2011), as organizações tendem a se tornar mais competitivas à medida que incorporam tecnologia nos seus processos de produção e comercialização de produtos. Entretanto, a incorporação de tecnologia deve ser realizada com cuidado, em função da realidade do produtor, dos custos de implantação e manutenção, e dos mercados em que a propriedade está inserida. A utilização de arquitetura *cloud-fog-thing*, busca explorar exatamente a concepção de baixo custo de instalação e uso desta tecnologia.

A falta ou uma conexão não tão eficiente proporcionada pelas operadoras de telecomunicação é um problema que está se tornando crítico no meio rural, sobretudo porque vários equipamentos que chegam ao mercado possuem diversos recursos que somente podem ser utilizados com uma conectividade de qualidade. Segundo IBGE (2018), nas áreas rurais da região Sul do Brasil, apenas 53,1% dos domicílios pesquisados utilizam a Internet. Na maioria das vezes o acesso à Internet funciona somente na sede da propriedade rural, de modo que no campo ou mesmo na sala de ordenha esse recurso



frequentemente não está disponível. Portanto, representa um cenário com significativos desafios de conectividade, caracterizada como a “habilidade de conectar, ou comunicar com outro computador, ou um sistema computacional” (MERRIAM-WEBMASTER, 2019).

No cenário exposto, emerge de forma crescente a discussão sobre o potencial de emprego das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) em pesquisas aplicadas à agropecuária, foco deste trabalho. Em especial, destaca-se a oportunidade de utilização da arquitetura *cloud-fog-thing*, ou simplesmente *fog/edge*, a qual busca explorar a concepção de escalabilidade com baixo custo de implantação, inclusive por meio dos avanços das pesquisas e padrões relacionados à comunicação veicular e redes tolerantes a atraso para mitigar a falta de conectividade, permitindo viabilizar a comunicação nas suas diferentes camadas.

### **1.1 Problema de Pesquisa**

Considerando os princípios de PDF e a evolução das TIC aplicadas à agropecuária, o principal problema passa a ser sua integração com o objetivo de melhorar o sistema produtivo para garantir que o leite, produzido por diversos produtores, tenha seus parâmetros de qualidade monitorados desde a ordenha, sendo resfriado de maneira correta e que o mesmo chegue até a indústria com a temperatura regulamentada pela IN 76/2018. Deste problema, surgiram duas questões relevantes de pesquisa, uma principal e uma secundária:

- (i) É possível viabilizar o monitoramento da cadeia do leite, desde o processo de ordenha, passando pelo armazenamento em tanques de resfriamento e depois por um sistema de transporte coletivo, até a chegada a indústria, por meio de um sistema baseado na arquitetura *fog/edge*, associado a modelos de comunicação aplicáveis a cenários com baixa conectividade?;
- (ii) É possível agregar elementos atuadores ao sistema proposto de modo a identificar precocemente anomalias no processo produtivo, evitando a contaminação do leite armazenado no tanque de resfriamento de um produtor e/ou no meio de transporte coletivo?

## 1.2 Objetivos

Partindo dos problemas enfrentados pelos produtores, pela indústria e pelos órgãos governamentais responsáveis por garantir a qualidade do leite e seus derivados, este trabalho, norteado pelas questões de pesquisa, tem como objetivo principal identificar alternativas tecnológicas relevantes para o contexto e, a partir destas, propor e avaliar a eficácia de um modelo de sistema computacional, com escalabilidade suficiente para atender um conjunto grande e crescente de produtores, capaz de monitorar (e eventualmente atuar sobre) variáveis relevantes da cadeia produtiva de leite em áreas rurais com baixa conectividade de rede.

Os objetivos específicos, atingidos através de um trabalho de pesquisa híbrido, inicialmente adotando uma metodologia exploratória e posteriormente um estudo de caso, são:

- Investigação de tecnologias aplicáveis ao modelo proposto.
- Concepção de um modelo com a definição dos módulos e funcionalidades.
- Como o protótipo desenvolvido se comporta em sucessivos testes em um cenário real.

## 1.3 Etapas

O trabalho de pesquisa delineado tendo em vista os objetivos elencados foi dividido em duas etapas, sendo a primeira apresentada como qualificação e a segunda desenvolvida até a defesa final do projeto.

### 1.3.1 Primeira Etapa

Na primeira etapa foi realizada uma pesquisa exploratória, visando conhecer mais detalhes e possíveis soluções aplicáveis ao problema, a partir de:

- (i) revisão inicial da literatura identificando aspectos computacionais passíveis de aplicação na solução do problema, bem como as soluções já existentes e suas deficiências, servindo de requisitos para a solução a ser concebida, destacando os materiais e métodos usados na revisão;

- (ii) concepção de um modelo de solução amparada por aspectos aplicáveis identificados na fase de revisão da literatura, destacando os materiais e métodos usados no processo de modelagem;
- (iii) implementação de um protótipo funcional, destacando os materiais e métodos usados nesta implementação;
- (iv) avaliação experimental preliminar do protótipo, destacando os materiais e métodos usados na avaliação, apresentando o cenário experimental, os resultados obtidos e uma discussão sobre estes;
- (v) conclusões acerca do protótipo, evidenciando principalmente as suas virtudes e limitações em atender os objetivos do trabalho.

### **1.3.2 Segunda Etapa**

Na segunda etapa, além da pesquisa exploratória, foi utilizada a metodologia de estudo de caso, visando a finalização e submissão do modelo proposto a experimentos em um cenário real, a fim de verificar o seu funcionamento e a coleta dos dados, a partir de:

- (i) revisão complementar da literatura aprofundando o conhecimento ou identificando outros aspectos computacionais passíveis de aplicação para a solução das lacunas identificadas na etapa preliminar, bem como outras soluções já existentes e suas deficiências, servindo de requisitos na aplicação ao modelo e/ou ao protótipo;
- (ii) concepção de um modelo evoluído de solução amparada por aspectos aplicáveis identificados na fase de revisão da literatura;
- (iii) implementação de um protótipo funcional do modelo evoluído;
- (iv) avaliação experimental detalhada do modelo por meio do protótipo;
- (v) conclusões acerca do protótipo e do modelo.

### **1.4 Organização do texto**

O restante do texto está organizado em mais 6 capítulos. No capítulo 2 são apresentados o domínio do problema e das soluções aplicáveis e trabalhos relacionados. O capítulo 3 apresenta a descrição do processo de ordenha, realizada *in loco* em uma propriedade rural com foco em pecuária leiteira. No capítulo 4 é detalhada a arquitetura

de solução computacional proposta para o monitoramento da qualidade do leite desde a ordenha até a indústria. No capítulo 5 é apresentada a metodologia experimental, incluindo o ambiente adotado como estudo de caso e o planejamento dos experimentos. No capítulo 6 são expostos e discutidos os resultados com o protótipo de nó sensor que representa uma das camadas da arquitetura proposta. Por fim, são elencadas no capítulo 7 as principais conclusões do estudo, seguidos por trabalhos futuros indicados como relevantes.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo são abordados os fundamentos teóricos do trabalho, começando sobre aspectos da produção de leite, tecnologias aplicáveis à pecuária leiteira de precisão, inovações que foram objetos de estudos e por fim os trabalhos correlatos. Ao final do capítulo é apresentada uma discussão entre a relação dos trabalhos e o atual projeto.

### **2.1 Pecuária Leiteira**

A produção de leite no estado do Rio Grande do Sul ocorre em 152.489 propriedades, distribuídas por 494 a 497 municípios tendo cada um em média 308 propriedades que produzem alguma quantidade de leite. Na grande maioria dos municípios os produtores vendem para indústrias, cooperativas ou queijarias onde em média cada produtor apresenta uma quantidade de 18 vacas leiteiras. Estas propriedades produzem em média 77.731 litros/ano cada, o que equivale a uma produção média de 213 litros/dia. Destas, 96,01% dos produtores têm resfriador de expansão direta (tanque isotérmico), o elevado percentual se deve ao fato de as empresas de laticínios exigirem a utilização deste equipamento, em função da maior eficiência no resfriamento do leite. Em 67,23% das propriedades está instalado o sistema de aquecimento de água, utilizada para a limpeza, sendo fundamental para garantir a correta higienização dos equipamentos de ordenha e resfriamento do leite (EMATER, 2019). Nas últimas décadas a pecuária leiteira aumentou significativamente, colocando o Brasil em um dos principais produtores de leite do mundo. A partir de 2015, a produção teve uma queda por dois anos consecutivos. A queda se deve a diversos fatores tais como, o consumo interno de lácteos, o preço do litro do leite pago ao produtor, custos de produção, preços internacionais, exportação e importação (ROCHA; CARVALHO, 2018).

Ainda de acordo com Rocha e Carvalho (2018), a produção de leite no Brasil começou a aumentar no segundo semestre de 2016, com a recuperação dos preços do litro pago ao produtor. O preço médio no primeiro semestre de 2016 foi de R\$ 1,17 por litro, já no segundo semestre o valor pago por litro atingiu R\$ 1,42. No ano de 2017 a produção de leite cresceu 4%, mas esta evolução não foi acompanhada pelo consumo e pelo preço pago ao produtor, que tiveram uma grande queda no segundo semestre de 2017. Segundo CEPEA (2020) o preço pago pela indústria do Rio Grande do Sul aos produtores, em março de 2020, referente ao leite entregue em fevereiro de 2020 foi de R\$ 1,30 o litro.

Nos últimos quatro anos foi registrado um aumento significativo na utilização de resfriadores de expansão direta pelos produtores, passando de 72,38% no ano de 2015 para 96,01% em 2019, devido ao fato de o crescimento da exigência pelas normas vigentes (EMATER, 2019).

Além do aumento da produção outro fator importante que deve ser considerado é a diminuição dos custos para o produtor, de acordo com Gomes et al. (2018) os itens de maior influência sobre o custo de produção são, nesta ordem, a alimentação, mão de obra, energia, combustível, taxas e impostos, inseminação, sanidade e higiene da ordenha. No caso do consumo de energia, está diretamente relacionado com o correto funcionamento do tanque de resfriamento. Para conhecer o consumo do tanque é necessário saber algumas variáveis que interferem no seu funcionamento tais como, o volume armazenado no tanque e as condições climáticas.

Outro cuidado importante é em relação ao Leite Instável Não Ácido (LINA), se constatado tal problema todo o produto armazenado no tanque é condenado, afetando a renda do produtor. Um bom planejamento do sistema de geração e o conhecimento dos fatores que influenciam na produção e a qualidade do leite são fundamentais para o produtor. O LINA não é considerado um leite ácido, pois o leite ácido é causado pela ação bacteriana que passa pela higiene do leite e pelo adequado resfriamento. Alguns fatores podem influenciar no resultado como a agitação inadequada do leite no tanque de resfriamento e ainda a coleta do leite recém ordenhado podem influenciar no resultado do teste (ZANELA; RIBEIRO, 2018).

### **2.1.1 Qualidade do Leite**

Alguns cuidados no momento da ordenha ajudam a produzir um leite de qualidade. A retirada dos três primeiros jatos, tendo como objetivo identificar animais com mamite, que é a inflamação da glândula mamária, e também descartar o leite que está armazenado no cano do teto, que possui uma alta carga bacteriana. Após, deve ser efetuada a lavagem dos tetos com água corrente limpa. A secagem dos tetos é um dos fatores de maior importância para obtenção de leite de qualidade. A desinfecção dos tetos após a ordenha é utilizada para diminuir a contaminação e controlar a mamite contagiosa (SUNE; PORTELLA; VERAS, 2002).

Para o leite *in natura*, a qualidade é determinada basicamente por três parâmetros, baixa Contagem de Células Somáticas (CCS), baixa Contagem de Bactérias Mesófilas

(CBT) e pela ausência de resíduos de antibióticos (DESTRO, 2017). A IN 76/2018 regulamenta que para o leite cru refrigerado, a média geométrica trimestral da Contagem Bacteriana Total (CBT) não pode ultrapassar a 300mil UFC/ml<sup>1</sup>, para análises individuais de cada produtor e a Contagem de Células Somáticas (CCS) a média geométrica trimestral não pode ultrapassar 500mil CS/ml<sup>2</sup> (BRASIL, 2018a).

## 2.2 Tecnologias Computacionais Aplicáveis à Pecuária de Precisão

Grandes possibilidades são encontradas na pecuária para que novas tecnologias de automação sejam utilizadas para o monitoramento de parâmetros. Para que essas tecnologias possam auxiliar na tomada de decisão pelos produtores, os dados precisam ser coletados e registrados. Maior parte da utilização de tecnologias de precisão na pecuária de leite estão relacionadas as rotinas que demandam a atribuição do produtor ou que representam a maior parte dos custos de produção. *Big Data* indica a possibilidade de gerir grandes quantidades de dados. O uso dessas tecnologias pode garantir a qualidade e a segurança dos alimentos para as indústrias de laticínios (PAIVA et al., 2016).

De acordo com Pereira et al. (2015) a pecuária leiteira de precisão é definida por uma tomada de decisões baseadas em tecnologia da informação, ajudando o produtor na melhoria do controle do animal, melhorando economicamente e ambientalmente o sucesso da fazenda leiteira.

Para Paiva et al. (2016) o uso de tecnologias de pecuária de precisão tem grandes possibilidades de aumentar a competitividade na pecuária leiteira, onde os produtores podem se beneficiar nas áreas de automação e tomadas de decisões mais eficientes. Afirma ainda que os dados de cada sistema de produção podem ser conectados aos da indústria, permitindo assim comparar diferentes sistemas desenhando políticas públicas e privadas auxiliando a pecuária leiteira com uma maior precisão.

A seguir são abordados os fundamentos teóricos das tecnologias, que servem de base para o desenvolvimento do modelo proposto. Abordando elementos específicos sobre processamento e armazenamento dos dados, redes veiculares e tolerantes a atrasos para a entrega dos dados coletados, redes sem fio para a comunicação entre as camadas e por fim um protocolo, que existindo a possibilidade, que as informações possam ser consultadas na própria propriedade.

---

<sup>1</sup>Unidades formadoras de colônias por mililitro (UFC/mL).

<sup>2</sup>Células somáticas por mililitro (CS/mL).

### 2.2.1 Fog Computing

*Fog Computing* é uma arquitetura que tem por finalidade o processamento e armazenamento de dados, possuindo um controle de rede localizado mais perto dos usuários. *Fog computing* também é uma arquitetura para comunicação e controle da rede, explorando como os dispositivos podem se comunicar, mesmo com uma comunicação intermitente (CHIANG et al., 2017).

*Fog Computing* permite que o processamento das informações seja executado diretamente nos nós da borda, evitando a necessidade que seja enviado para a nuvem uma grande quantidade de dados. A vantagem do processamento ser realizado na borda da rede, é que possui suporte a mobilidade e baixa latência de rede. *Fog Computing* suporta a aplicação da Internet das Coisas (ARIF; WANG; BALAS, 2018).

Em uma arquitetura normal os dados coletados pelos sensores são enviados diretamente para a nuvem, e somente depois processados. Neste processo uma grande quantidade de dados são enviados, exigindo assim uma boa conectividade disponível, o que nem sempre é garantida. Ao utilizar *Fog Computing*, uma nova camada é introduzida, onde os dados são processados e reduzindo assim a quantidade de informação a ser enviada para a nuvem. (BONOMI et al., 2012).

Para Vaquero e Rodero-Merino (2014) *fog computing* é um cenário onde existem diversos dispositivos, geralmente sem fio e ainda, muitas vezes autônomos que se comunicam e cooperam entre si e com a rede, executando tarefas de armazenamento e processamento sem intervenção. Além das melhorias nas redes sem fio, é necessário um desenvolvimento que permita a comunicação das extremidades onde inexistente a possibilidade de conexão a alguma WAN ou LAN, devido a custos ou até mesmo a falta desta conectividade. Destaca que as Redes Móveis Ad Hoc (MANET) são um tópico importante de pesquisa e podem ser a base para *fog computing*, sendo que tanto a tecnologia *Bluetooth* quanto *ZigBee* permitem a construção de MANET.

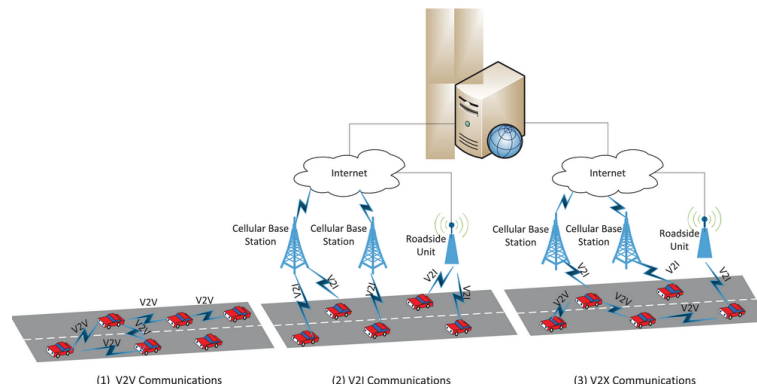
### 2.2.2 VANET - Vehicular ad-hoc Network

Rede Ad Hoc Veicular (VANET) é uma tecnologia que já vem sendo destacada a sua relevância na área, integrando rede ad hoc, LAN sem fio (WLAN) e tecnologia celular para fazer comunicações inteligentes entre veículos (LI; WANG, 2007). VANET (figura 1), é composta de veículos (carros, ônibus ou caminhões) equipados com



dispositivos sem fio chamados de *On Board Unit* (OBU), que estão em movimento ou não, e que se comunicam em pequenas e médias distâncias. Também faz parte de uma VANET a *Road Side Unit* (RSU), que são equipamentos instalados nas estradas que podem fornecer acesso à Internet ou até mesmo atuarem na geração de informações e no roteamento de dados a serem transferidos.

Figura 1 – Tipos de comunicações em redes VANET



Fonte: Zhou et al. (2018)

Uma maneira de ser realizada a troca de informações em uma VANET é estabelecer um roteamento Veículo para Veículo (V2V) de múltiplos saltos. Os veículos também podem fazer a transferência de informações utilizando uma RSU, chamada de Veículo para Infraestrutura (V2I), comunicação que permite ao veículo conhecer informações importantes ao seu redor (ZHOU et al., 2018).

De acordo com Zhang e Wolff (2008), redes veiculares são projetadas principalmente para áreas urbanas com alta densidade de redes conectadas. O protocolo *Border node based routing* (BBR) pode tolerar uma divisão da rede, devido à baixa densidade dos nós. Afirma ainda que o protocolo BBR funciona bem em redes com muitos particionamentos e mudanças rápidas de topologias, sendo adequado o seu uso para áreas rurais e remotas.

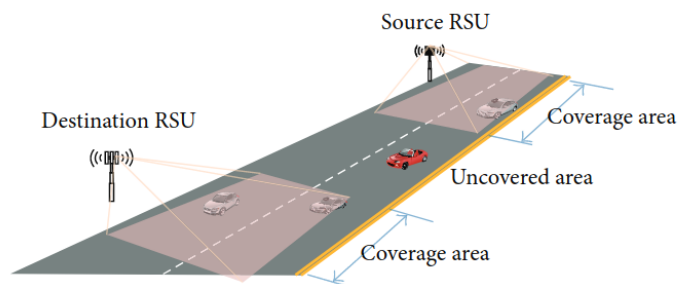
Para Oliveira et al. (2013), as VANET devem estimular a participação na sua rede, aproveitando os dispositivos dos próprios usuários como *notebooks*, *tablets* e *smartphones*, com diferentes tecnologias para a comunicação entre esses nós. Alguns desses nós conectados a uma rede e outros não, sendo ampla a diversidade dos nós participantes incluindo nós sensores. A comunicação entre os usuários pode ocorrer através de *Bluetooth* ou modo ad-hoc.

De acordo com Frank et al. (2014), veículos podem se conectar à Internet

utilizando redes móveis de dados, esquema conhecido como Veículo para Infraestrutura (V2I), propõem em seu trabalho uma comunicação para implementar aplicações V2V, utilizaram a tecnologia disponível *Bluetooth 4.0* ou *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Realizaram alguns experimentos utilizando telefones celulares, trocando informações entre ambos em distâncias de 5 a 100 m. Enviaram apenas uma identificação com a finalidade de medir o tempo de ida e volta. Verificaram que até 80 m a conexão se manteve estável com uma *Roun-Trip Time (RTT)* de 60 ms. Concluíram em seu trabalho que a tecnologia BLE, utilizando *smartphones*, pode ser utilizada para propagar dados de um veículo para outro, mas não foi projetado para comunicação veicular, pois seu principal objetivo é permitir uma comunicação, de baixa energia, por exemplo, entre dispositivos móveis e sensores, onde se permite utilizar para a comunicação Veículo/Infraestrutura (V2I).

Os veículos em VANET podem perder a conexão na rede (figura 2), devido ao fato de que as RSU não conseguem cobrir todas as áreas, pelo seu custo de implantação, ou no caso do veículo estar conectado em algum momento à Internet e esta conexão é intermitente, ou seja, não existe cobertura em toda a parte.

Figura 2 – Perda de comunicação em VANET



Fonte: Kang et al. (2015)

As redes tolerantes a atrasos são utilizadas em muitos paradigmas de comunicação, incluindo cenários sujeitos a interrupções e desconexões bem como em contextos com alto atraso e muitos particionamentos como em VANET (KANG et al., 2015).

*Delay Tolerant Networking (DTN)*, são caracterizadas pela ausência de uma rota de uma ponta a outra, devido à conectividade não estar sempre presente entre os nós (ROY; ACHARYA; DASBIT, 2017). Característica que retrata bem o cenário, onde as propriedades rurais estão localizadas, geralmente distantes das cidades, não dispendo de

uma conectividade em toda a rota do caminhão tanque, entre a indústria e a propriedade rural/indústria e muitas das vezes não havendo uma conexão com a Internet na própria propriedade rural.

Para que se seja possível a comunicação nesse de cenário, foram criadas as redes tolerantes a atrasos, utilizando o conceito de armazenar-e-repassar. Esse conceito define que um nó da rede deve armazenar a mensagem até que seja possível enviar para outro nó ou o seu destino. Esse modelo é implementado em DTN com a criação de uma nova camada, antes da camada de transporte, chamada de agregação (*bundle*), que tem por finalidade armazenar e enfileirar as mensagens até que uma nova conexão seja estabelecida, que no caso de VANET são chamadas de conexões oportunísticas, pois é difícil de prever quando uma nova conexão será estabelecida (PAULA, 2009).

### 2.2.3 Redes sem Fio

Hoje em dia as redes sem fio estão presentes nos nossos locais de trabalho, em áreas de entretenimento, nas indústrias e em vários outros locais que muitas vezes nem sabemos, devido ao fato de as pessoas estarem conectadas em alguma rede a qualquer instante. Em determinadas situações é muito oneroso ou até mesmo inviável, pela infraestrutura do local, montar uma estrutura maior de rede, se utilizando de cabeamento, aí a grande vantagem da utilização de redes sem fio e principalmente a sua mobilidade (ROSS, 2008).

As redes sem fio se classificam em diversas categorias, daremos uma ênfase na categoria das redes sem fio pessoal, também conhecidas como *Wireless Personal Area Network* (WPAN) e as redes sem fio de área local, também conhecidas como *Wireless Local Area Network* (WLAN).

As redes sem fio de área pessoal estão crescendo, devido à utilização de vários dispositivos pessoais que necessitam de um acesso entre si ou para outros dispositivos. Algumas características principais que devem ser consideradas, que são redes para uma comunicação de baixa distância, baixo custo de energia, poucos dispositivos interligados e a mobilidade (ROSS, 2008).

Já as redes sem fio de área local são utilizadas para a conexão de computadores com uma cobertura maior, podendo ser organizada a partir de uma base central de controle ou de forma espontânea, sem a base central, onde também são chamadas de redes *ad hoc* ou Redes Móveis *Ad Hoc* (MANET) (ROCHOL, 2018).

### 2.2.3.1 Bluetooth

*Bluetooth* é uma tecnologia utilizada para a conexão sem fio, sendo de curto alcance entre os dispositivos. A principal função é a transferência de dados e voz entre os dispositivos. Uma tecnologia similar a infravermelho, utilizando a banda de 2,4 GHz a mesma do padrão 802.11b. Entre os principais objetivos desta tecnologia podemos citar a facilidade de comunicação entre os dispositivos, a eliminação de cabos, a possibilidade de criação de pequenas redes sem fio e uma baixa necessidade de alimentação.

Porém, simultaneamente, possui algumas desvantagens como uma baixa velocidade de transferência, a frequência de 2,4 GHz é utilizada por vários outros dispositivos onde pode gerar alguma sobreposição e um alcance limitado que pode variar entre 10 e 100 metros com uma taxa de transmissão entre 1 Mbps e 700 Kbps (MONTICO, 2010).

### 2.2.3.2 ZigBee

*ZigBee* é uma tecnologia para comunicação sem fios, tendo como foco principal na padronização e permitir a interoperabilidade de produtos. A rede *ZigBee* opera na frequência *Industrial, Scientific and Medical* (ISM), não precisando de licença em vários países. A rede *ZigBee* oferece imunidade contra interferências e também uma grande capacidade de interligar dispositivos. Entre as principais vantagens de uso podemos citar o grande número de nós, a facilidade de implementação e baixo consumo de energia (FERNANDES, 2012).

A rede *ZigBee* é definida pelo padrão IEEE 802.15.4, fazendo parte da WPAN, possuindo uma ideia similar ao *Bluetooth*, podendo citar algumas características como alcance que pode atingir até 100 metros, atingindo uma taxa de transmissão de 250 Kbps operando na banda de 2,4 GHz (MORAES, 2010).

### 2.2.3.3 LoRaWAN

A rede *Long Rang Wide Area Network* (LorRaWAN) utiliza o protocolo *Long Range* (LoRa) é uma rede de longa distância, bidirecional, que opera com ondas de rádio, com baixo consumo de energia. A rede é formada por dispositivos finais microprocessados que se comunicam com *gateways*, onde estes se comunicam com servidores de rede por conexão IP. O alto desempenho se deve ao fato de a topologia em estrela onde a simplificação da arquitetura oferece uma melhor conexão através de

caminhos mais diretos entre os dispositivos finais e o servidor de rede (CRUZ; CRUZ, 2019).

A rede LoRa é a camada física usada na LoRaWAN, possuindo uma baixa potência, onde a bateria pode durar até 10 anos e uma baixa taxa de transferência de dados podendo variar de 27 Kbps a 50 Kbps e um longo alcance de comunicação que pode variar de 2 a 5 Km em áreas urbanas e chegando a 15 Km em áreas não urbanas (ADELANTANDO et al., 2017).

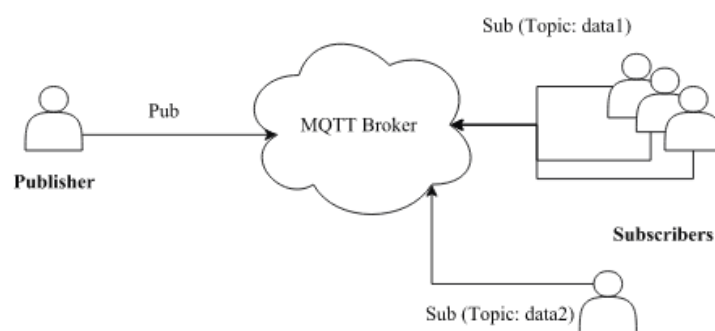
### 2.2.4 Message Queue Telemetry Transport (MQTT)

MQTT é um protocolo *publish/subscribe*, ou seja, publicar e assinar, lançado pela IBM em 1999. MQTT foi planejado para enviar dados, com precisão, em redes com baixa largura de banda e alta latência (KRAIJAK; TUWANUT, 2015).

Para Quincozes, Emilio e Kazienko (2019) o protocolo MQTT permite a transmissão de mensagens para vários clientes sempre de forma intermitente, permitindo que clientes possam assinar tópicos de um servidor chamado de *Broker* MQTT. Este *broker* pode conter várias informações, chamadas de tópicos, onde cada um deles permite que seja recebido informações de diferentes publicadores e conseqüentemente que a entrega também seja efetuada a diversos dispositivos assinantes deste tópico.

Para a troca de informações utilizando o protocolo MQTT, um controlador central é usado para distribuir as mensagens. Este controlador encaminha, filtra e prioriza as solicitações de publicação dos publicadores para os assinantes.

Figura 3 – Troca de dados com MQTT



Fonte: Tantitharanukul et al. (2017)

Para efetivar a comunicação utilizando o protocolo MQTT, o publicador deve

definir dois elementos, a mensagem e o tópico que serão enviados para o broker MQTT. A mensagem são os dados de sequência que o publicador deseja compartilhar com os assinantes por meio do broker MQTT. Já o tópico é uma sequência que é usada pelo *broker*, decidindo quais assinantes devem receber a mensagem. A figura 3 mostra um exemplo, onde o publicador envia a mensagem com o tópico *data2* e apenas um assinante recebe a mensagem, mas no momento que o publicador envia o tópico *data1*, existem três assinantes que recebem a mensagem do *broker* (TANTITHARANUKUL et al., 2017).

### 2.3 Trabalhos Relacionados

Nesta seção são discutidos alguns trabalhos importantes para o entendimento de algumas pesquisas relacionadas ao assunto deste trabalho. Na análise, foram incluídas publicações semelhantes a solução proposta.

Adamczuk, Fagundes e Silva (2014) realizaram o seu experimento em uma fazenda localizada em Toledo/PR onde contavam com 45 animais em lactação, com sistema de ordenha canalizado. O objetivo do trabalho foi de verificar a qualidade microbiológica do leite durante o tempo de armazenamento no tanque, ou seja, a influência da temperatura por um período de 48 horas. Foram realizadas 5 coletas, sendo: 0, 3, 12, 24 e 48 horas após as ordenhas. A segunda coleta, em 3 horas após a primeira ordenha, devida à exigência da temperatura do leite ser igual ou inferior a 4 °C como recomenda a legislação. As temperaturas do leite estocado no tanque também foram apontadas, sendo respectivamente de 21 °C, 3,7 °C, 10 °C, 8,7 °C e 7 °C para cada coleta. Concluíram no seu trabalho que o leite estocado pelo período de 48 horas apresentou um aumento significativo na Contagem Padrão em Placas (CPP) entre os tratamentos 3 e 12, mas se mantendo nos limites da legislação, isso se explica devido à baixa contagem inicial com a eficiência da refrigeração.

Grgić, Špeh e Heđi (2016) propuseram um protótipo implementado em um forno para secagem de tabaco. Para os testes iniciais utilizaram um *Raspberry PI 3* com um sensor de temperatura DS18B20, conforme a figura 4. Para a leitura da temperatura e o envio dos dados para o *broker* implementaram scripts na linguagem *Python*. Baseado em um broker MQTT, onde as principais características são as trocas de informações pequenas de baixa complexidade e baixo consumo de energia, com o objetivo de entregar, de forma confiável, os dados dos sensores ao usuário final.

Figura 4 – Sensor DS18B20 conectado ao *Raspberry*

Fonte: Grgić, Špeh e Heđi (2016)

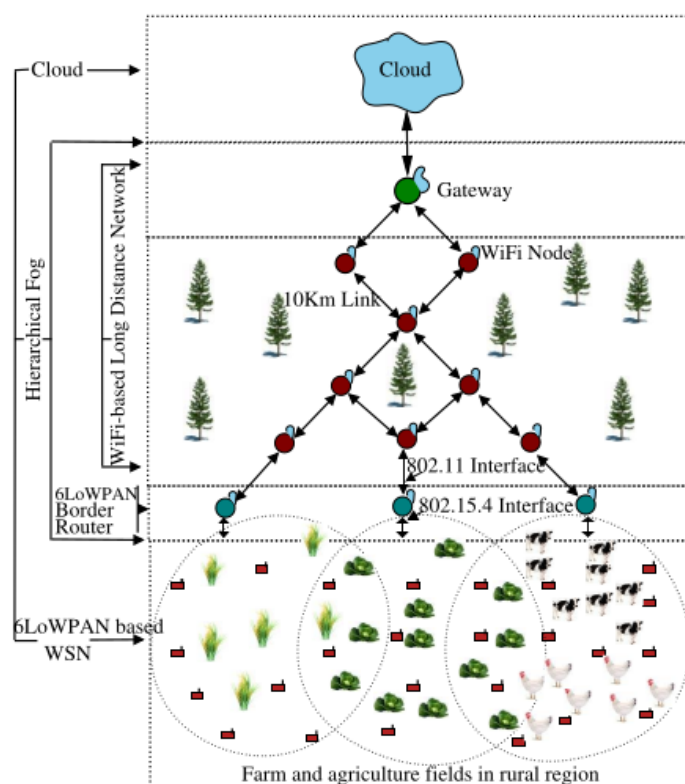
Oliveira et al. (2016) visitaram 33 propriedades leiteiras na região do Vale do Rio Doce (MG), onde coletaram a temperatura do tanque de resfriamento, indicado no próprio instrumento do maquinário e também, utilizando um termômetro digital, mediram a temperatura em seis pontos diferentes no tanque. Após a mensuração, com o tanque em repouso, acionaram o equipamento de agitação por dez minutos para realizar nova coleta, apontando a temperatura indicada pelo tanque de resfriamento. Recolheram amostras do leite enviando as mesmas para um laboratório pertencente a RBQL, onde foram analisadas. Um questionário foi aplicado para cada produtor abordando questões sobre a correta temperatura do leite e a importância da refrigeração. Relatam que os termostatos dos tanques estavam desregulados, pois, a temperatura apontada e a mensurada estavam diferentes, em alguns casos para mais e outros para menos. Concluíram que a falta de conhecimento dos produtores a respeito da correta refrigeração do leite comprometem a qualidade do mesmo, afirmam ainda que a devida manutenção e inspeção nos tanques de resfriamento devem ser de forma constante.

Em sua dissertação, Schenfeld (2017) propõe uma arquitetura para dispositivos da Internet das Coisas utilizando os conceitos de *fog* e *edge computing*, devendo habilitar o processamento de dados nos dispositivos, se comunicando uns com os outros, com o objetivo de diminuir a latência de rede. Propôs uma arquitetura em três partes, sendo a primeira a plataforma *middleware*, responsável por operar o topo da arquitetura, gerenciando os dispositivos *fogs*. A segunda sendo a camada *fog computing*, responsável por gerenciar os sensores. E a última camada *edge computing*, embarcada nos dispositivos de borda, atuando como uma API de comunicação com os sensores. Conclui que

a arquitetura proposta fornece segurança na transição dos dados entre as camadas oferecendo também um suporte eficiente para o armazenamento de dados.

AHMED, DE e HUSSAIN (2018) propõem uma arquitetura com uma solução prática e promissora para conectar fazendas rurais usando IoT com baixo custo e melhorando a *Quality of Service* (QoS). A arquitetura (figura 5) combina várias redes para uma escalabilidade e maior cobertura de alcance. O artigo apresentou um sistema de controle baseado em IoT para o avanço da agricultura em áreas rurais. Diferentes componentes e aprimoramentos do sistema de controle foram discutidos e analisados. A solução de roteamento e MAC para IoT tem alcançado melhor desempenho de energia, atraso e rendimento. Combinando a solução proposta com a rede *WiFi-based long distance* (WiLD), é possível reduzir o atraso e melhorar o rendimento. A solução de computação em nevoeiro, proposta, leva a ação com menor atraso e economiza largura de banda na rede. Uso de tecnologias modernas como a IoT com soluções escalonáveis e de baixo custo é muito importante.

Figura 5 – Arquitetura de rede proposta



Fonte: AHMED, DE e HUSSAIN (2018)

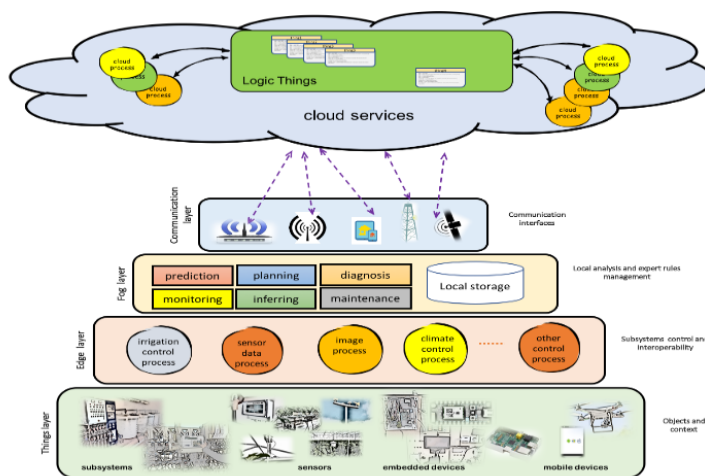
Martínez et al. (2018) realizaram o rastreamento durante um ano em fazendas do



sudeste da Espanha, produtoras de leite de ovelhas, cabras e vacas. Coletaram amostras do leite que ficaram armazenadas, com o objetivo de conhecer a duração e as condições de temperatura das amostras durante a viagem da fazenda até a chegada na indústria. Todas as amostras foram enviadas para um laboratório credenciado para análise da qualidade do leite. Durante as 4 estações do ano foram coletadas 6 amostras em fazendas mais próximas à indústria e de 25 propriedades mais distantes, observando pouca variabilidade na temperatura entre elas. Afirmam ainda que a rastreabilidade do leite desde a fazenda até a indústria aumenta a confiabilidade para preservar a característica do produto e ainda ajudaria a conservar a possibilidade de um leite de qualidade ser contaminado por algum com problema de outra fazenda. Utilizaram também um GPS para traçar a rota feita pelo caminhão marcando os pontos de coleta do leite.

No trabalho de Pastor et al. (2018), propõem um modelo (figura 6), baseado em uma arquitetura de 3 níveis: *Edge, Fog e Cloud Services*. Realizaram um experimento em uma estufa, onde foram instalados nós de comunicação e um serviço baseado em árvore de decisão. Foram utilizados vários sensores para coleta de informações sobre o solo, consumo de energia, consumo de água e dados sobre o clima onde possam ser utilizados como atuadores, se é necessário ligar a irrigação ou não, baseado na árvore de decisão construída através dos dados monitorados. Concluíram em seu trabalho que a instalação de uma nova metodologia apresenta dificuldades de ser implementada em cenários agrícolas, pelo fato de uma resistência por parte dos produtores, seja pela falta de conhecimento ou por restrições de infraestrutura local. O método utilizado propõe novas soluções de baixo custo que possam auxiliar o agricultor.

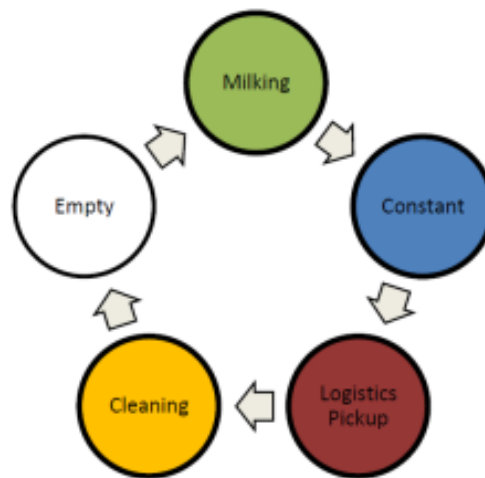
Figura 6 – Arquitetura proposta



Fonte: Pastor et al. (2018)

ZAKERI et al. (2018) em seu artigo, propõem uma abordagem para monitorar a temperatura e o nível de armazenamento do tanque de resfriamento. A pesquisa foi realizada em uma fazenda leiteira na Austrália, onde as informações são usadas para determinar um “status” que o tanque de resfriamento deve se encontrar de acordo com as normas vigentes. Classifica um ciclo no processo de ordenha (figura 7), onde se inicia com o evento “vazio”, seguido de “ordenha”, onde o nível do tanque sobe para 16%. Ao final da ordenha o tanque fica “constante”, ou seja, atinge a temperatura ideal para armazenamento, até que se inicie a segunda “ordenha” elevando o nível do tanque para 23%, passando novamente para “constante”, até que o material é recolhido pelo caminhão tanque, onde o evento passa a ser “limpeza”, está realizada com água quente elevando assim a temperatura do mesmo passando para o último evento que é “vazio”. Foi desenvolvido um sistema de detecção usando dados da IoT para determinar eventos automaticamente no ciclo de ordenha com alta precisão, visando aumentar a qualidade do leite. Propõem ainda como trabalho futuro um sistema de alerta em que o produtor possa receber informações em caso de alguma ação específica.

Figura 7 – Eventos no processo de ordenha



Fonte: ZAKERI et al. (2018)

A tabela 1 contrasta a proposta de solução apresentada neste trabalho com os seus correlatos, diferenciando-os por meio da presença de características particulares em cada um deles. As características selecionadas são as seguintes:

- Pecuária leiteira: aborda a produção de leite;
- Precisão: grau de confiabilidade dos dados obtidos por medições repetidas;
- Temperatura do leite: medidas da temperatura do leite no tanque de resfriamento;
- Coleta de Dados: coleta automatizada ou não de variáveis;
- Sensores: utilização de sensores próprios para medição;
- Análise Laboratorial: análises laboratoriais do leite;
- Conectividade: utilização de alguma conectividade para transferência dos dados.

Tabela 1 – Comparativo entre os trabalhos correlatos

Trabalho	Pecuária Leiteira	Precisão	Temperatura do Leite	Coleta de Dados	Sensores	Análise Laboratorial	Conectividade
Adamczuk, Fagundes e Silva (2014)	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Grgić, Špeh e Heđi (2016)	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Oliveira et al. (2016)	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Schenfeld (2017)	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim
AHMED, DE e HUSSAIN (2018)	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Martínez et al. (2018)	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Pastor et al. (2018)	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não
ZAKERI et al. (2018)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Proposta	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: Autor (2019)

Todos os trabalhos relatados utilizam coleta de dados, ressaltando que em Adamczuk, Fagundes e Silva (2014) e Oliveira et al. (2016) não é realizada através de sensores, sendo utilizado um instrumento próprio, não automatizado. Os trabalhos não tratam na integralidade, sobre variáveis da produção de leite, mas utilizam sensores próprios para a coleta dos dados do sistema produtivo para os quais foram concebidos. Alguns trabalhos apresentam a arquitetura *Fog/Edge*, enquanto outros tratam do assunto da conectividade, mas para a sua implementação exigem uma conectividade, restrita ao emprego de redes 3G/4G ou WiFi.

O trabalho de Pastor et al. (2018) é o que mais coincide com a proposta, utilizando sensores de coleta de dados, atuadores, camada *Fog*, embora não sendo referente a uma propriedade produtora de leite, mas para sua utilização é necessária uma conexão de rede na propriedade para transferência dos dados para a nuvem. A proposta se difere ainda pelo uso de tecnologias que permitem a transferência dos dados coletados através das tecnologias de redes veiculares tolerantes a atrasos explorando ainda o protocolo MQTT, que se possível, possa ser utilizado no modelo proposto.

### **3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ORDENHA**

Para a concepção do modelo de solução proposta neste trabalho, foram realizadas visitas a uma propriedade rural, com o objetivo de conhecer as instalações e a rotina do processo de ordenha e recolhimento do leite. A seguir é detalhado o processo.

#### **3.1 Processo de Ordenha**

O processo de ordenha de uma propriedade no município de Hulha Negra, localidade Colônia Nova Esperança, é realizado duas vezes ao dia, na parte da manhã, iniciando por volta das 5 horas e 30 minutos e na tarde com início em torno das 17 horas. Em média é realizada a ordenha de 30 vacas lactantes da raça holandesa, produzindo em torno de 400 a 500 litros de leite por dia, dependendo da época do ano.

O sistema de ordenha utilizado é o “espinha de peixe 4x2”, onde na sala de ordenha tem espaço para 4 vacas de cada lado, totalizando 8 animais na sala simultaneamente. A ordenha é realizada de 4 vacas simultaneamente, enquanto as demais, do outro lado, aguardam se alimentando de ração.

O leite ordenhado é enviado para um pré-tanque de armazenamento, com capacidade aproximada de 10 litros, que tem a função de armazenar uma certa quantidade de leite para então ser enviado para o resfriador de leite. A propriedade possuía dois tanques de expansão/resfriamento de leite cada um com capacidade de armazenamento de 1.000 litros sendo substituído em junho de 2019 por um tanque de resfriamento de 2.000 litros.

#### **3.2 Sala de Ordenha**

A sala de ordenha deve ser mantida limpa antes, durante e após a obtenção da matéria-prima (BRASIL, 2018b). A figura 8, mostra uma sala de ordenha, com capacidade para 8 vacas sendo 4 ordenhadas simultaneamente. A sala de ordenha com este modelo permite uma rotina mais rápida de trabalho com menos estresse, tanto para os animais como para os ordenhadores, pois, o animal fica menos tempo na sala e o ordenhador pode desempenhar todas as suas funções em pé.

Figura 8 – Sala de ordenha



Fonte: Autor (2019)

O leite ordenhado é enviado por uma tubulação instalada na sala de ordenha até o pré-tanque (figura 9), que tem a função de coletar uma determinada quantidade e assim bombear o mesmo até o tanque de resfriamento, evitando que a bomba envie pouca quantidade de leite. O pré-tanque, após a ordenha, também deve passar por todos os procedimentos de limpeza como na sala de ordenha.

Figura 9 – Pré-tanque



Fonte: Autor (2019)

### 3.3 Tanque de Resfriamento

O tanque de resfriamento de leite (figura 10), utilizado no sistema de coleta a granel, deve ser instalado em local apropriado, provido de paredes, cobertura, pavimentação, iluminação, ventilação e ponto de água corrente. O local onde o tanque de resfriamento está instalado deve ser de fácil acesso pelo caminhão que fará a coleta do leite, além de ser mantido sob condições de limpeza e higiene (BRASIL, 2018b).

Figura 10 – Tanque de resfriamento



Fonte: Autor (2019)

A capacidade de armazenamento do tanque de resfriamento depende da estratégia adotada por cada produtor rural e ainda pela disponibilidade do plano de coleta por parte da indústria. A tabela 2 mostra quais tanques estão disponíveis para a escolha da melhor estratégia.

Tabela 2 – Classe de desempenho

Classe	Quantidade de Ordenhas
2	O tanque pode armazenar 2 (duas) ordenhas antes da coleta
4	O tanque pode armazenar 4 (quatro) ordenhas antes da coleta
6	O tanque pode armazenar 6 (seis) ordenhas antes da coleta

Fonte: Delaval (2018a)

Quando um tanque de quatro ordenhas estiver vazio ou com 25%, de sua capacidade de armazenamento e já se encontrar em temperatura de 4 °C, sendo adicionado mais 25% de leite, ou seja, a terceira ordenha, onde o leite encontra-se com temperatura em torno de 35 °C, todo o conteúdo deve ser resfriado a 4 °C em um tempo menor do que o especificado, no caso de até 3 horas.



### 3.4 Coleta do Leite

Segundo BRASIL (2018b), a coleta do leite cru refrigerado na propriedade produtora consiste em recolher o produto em veículo apropriado através de mangueira e bomba, diretamente do tanque de resfriamento. O responsável pelo procedimento de coleta, deverá possuir treinamento sobre a higiene e o processo de coleta. A coleta do leite do tanque de resfriamento para o tanque isotérmico instalado no caminhão é a última etapa até que o produto chegue à indústria. O responsável pela coleta, antes de iniciar a sua rota, deverá verificar dois pontos importantes, que serão utilizados no processo, os equipamentos para o transporte e os utensílios utilizados no momento da coleta. A indústria deverá fornecer um termômetro calibrado e em perfeito funcionamento (CALDAS et al., 2017).

Ainda de acordo com Caldas et al. (2017), ao chegar na propriedade o transportador deve seguir algumas recomendações, entre os quais citamos os seguintes:

- Higienizar as mãos e antebraços;
- Lavar e desinfetar os utensílios que serão utilizados;
- Desinfetar as partes que farão a conexão do caminhão com o tanque de resfriamento;
- Verificar e apontar a temperatura do leite utilizando o termômetro do próprio tanque ou o termômetro portátil disponibilizado pela indústria;
- Medir e registrar o volume do leite;
- Ligar o sistema de agitação do tanque;
- Realizar o teste de alizarol seguindo as recomendações da indústria em caso de não conformidade;
- Coletar amostras do leite para análises da qualidade higiênica e da composição do leite, acondicionando imediatamente em local apropriado;
- Realizar o processo de transferência do leite para o tanque do caminhão.

O processo de medição da quantidade de leite é realizada através de uma régua (figura 11 a), onde cada tanque tem sua régua específica, com uma tabela para conversão em litros (figura 11 b).

Figura 11 – Régua e tabela de conversão



(a) Régua

cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm
12	392	32	735	62	1367	72
12,5	381	32,5	744	62,5	1376	72,5
13	380	33	753	63	1385	73
13,5	389	33,5	762	63,5	1394	73,5
14	400	34	771	64	1403	74
14,5	417	34,5	780	64,5	1412	74,5
15	425	35	789	65	1421	75
15,5	435	35,5	798	65,5	1430	75,5
16	444	36	807	66	1439	76
16,5	453	36,5	816	66,5	1448	76,5
17	462	37	825	67	1457	77
17,5	472	37,5	834	67,5	1466	77,5
18	481	38	843	68	1475	78
18,5	490	38,5	852	68,5	1484	78,5
19	499	39	861	69	1493	79
19,5	508	39,5	871	69,5	1502	79,5
20	517	40	880	70	1511	80
20,5	526	40,5	889	70,5	1520	80,5
21	535	41	898	71	1529	81
21,5	544	41,5	907	71,5	1538	81,5
22	553	42	916	72	1547	82
22,5	562	42,5	925	72,5	1556	82,5
23	571	43	934	73	1565	83
23,5	580	43,5	943	73,5	1574	83,5
24	589	44	952	74	1583	84
24,5	598	44,5	961	74,5	1592	84,5
25	607	45	970	75	1601	85
25,5	616	45,5	979	75,5	1610	85,5
26	625	46	988	76	1619	86
26,5	634	46,5	997	76,5	1628	86,5
27	643	47	1006	77	1637	87
27,5	652	47,5	1015	77,5	1646	87,5
28	661	48	1024	78	1655	88
28,5	670	48,5	1033	78,5	1664	88,5
29	679	49	1042	79	1673	89
29,5	688	49,5	1051	79,5	1682	89,5
30	697	50	1060	80	1691	90
30,5	706	50,5	1069	80,5	1700	90,5
31	715	51	1078	81	1709	91
31,5	724	51,5	1087	81,5	1718	91,5

(b) Tabela de Conversão

Fonte: Autor (2020)

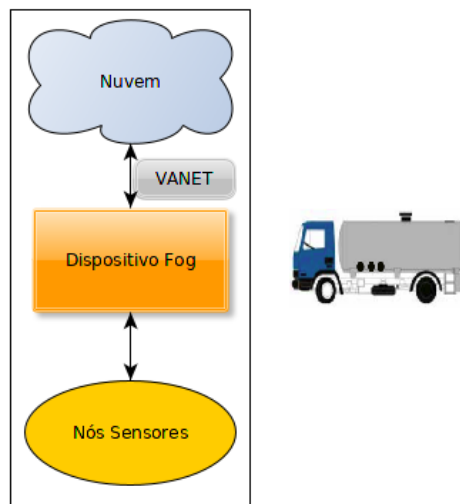
Os horários de coleta em cada propriedade e a rota traçada devem ser rigorosamente cumpridas, com o objetivo de chegar à indústria quanto antes, diminuindo a hipótese da multiplicação das bactérias. Ao chegar na indústria a temperatura do leite armazenado, no caminhão, deverá ser medida.

A coleta do leite pelo caminhão tanque, nesta propriedade, é realizada a cada dois dias sempre pela parte da manhã entre 7 e 8 horas, portanto, para cada coleta são efetuadas quatro ordenhas, duas pela manhã e duas a tarde. Vale destacar que esta estratégia de recolhimento do leite a cada dois dias, vale para a propriedade aqui relatada, sendo que em outras locais pode se diferenciar desta.

## 4 SOLUÇÃO PROPOSTA

Considerando o processo de ordenha e coleta do leite, explicitados no capítulo anterior, é proposto um modelo de sistema que visa a coleta automatizada de variáveis na cadeia produtiva de leite, além da disseminação das informações coletadas de cada produtor, envolvendo uma série de produtores de uma determinada região. O modelo é dividido em quatro elementos (figura 12), detalhadas nas seções deste capítulo.

Figura 12 – Modelo proposto



Fonte: Autor (2019)

### 4.1 Nós Sensores

No modelo proposto contamos com uma camada de nós sensores, que servirão para efetuar a coleta, de forma automatizada, de algumas variáveis relevantes da cadeia de produção de leite. As informações a serem coletadas compreendem entre o processo de ordenha e armazenamento do leite na propriedade rural. A figura 13 representa o modelo

da proposta a ser implementada, tanto na sala do tanque de resfriamento como na sala de ordenha. A seguir serão detalhadas as variáveis a serem coletadas:

- Temperatura e umidade ambiente;
- Temperatura do leite;
- Quantidade de leite armazenado no tanque;
- Consumo de energia do tanque;
- pH do leite.

Figura 13 – Sensores



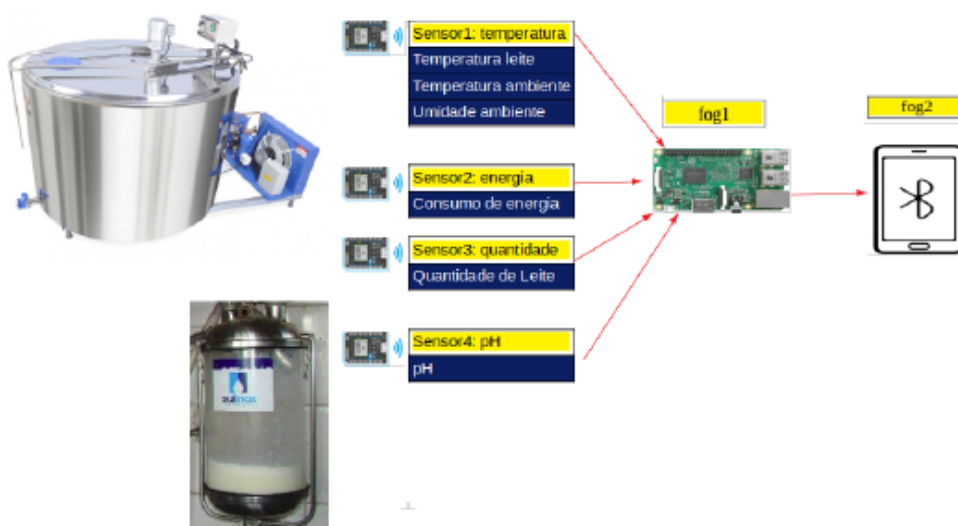
Fonte: Autor (2019)

A ideia é utilizar sensores próprios para cada medição para a plataforma Arduino que serão detalhados no próximo capítulo. Com exceção do sensor de pH os demais deverão ser instalados na sala de máquinas, onde o tanque de resfriamento está devidamente acondicionando. Já o sensor de pH do leite deverá ser monitorado na sala de ordenha.

## 4.2 Dispositivo Fog

A segunda camada do modelo proposto (figura 14), chamada de névoa (*Fog*), onde poderá ser utilizado tanto a plataforma Arduino, que é um microcontrolador possuindo pinos de entrada/saída, tanto analógicas como digitais, uma conexão USB, podendo ser utilizado como uma fonte de alimentação um adaptador CA/CC ou utilizando bateria (ARDUINO, 2018) ou ainda uma placa Raspberry Pi, que é um computador de placa única, montado em um circuito impresso, tendo os mesmos componentes que qualquer outro computador, processador, memória, sendo utilizado um cartão SD como o principal dispositivo de armazenagem (NEWCOMB, 2018).

Figura 14 – Camada *Fog Computing*



Fonte: Autor (2020)

Esta camada, no modelo concebido, será responsável por executar 4 funções que serão detalhadas a seguir. A primeira função será a de receber os dados, dos sensores, através de uma linguagem de programação própria, dependendo de qual dispositivo será utilizado.

A segunda função será de executar um pré-processamento dos dados recebidos, verificando se os valores são válidos, tarefa que pode ser executada comparando os valores de cada sensor pela sua faixa de medição.

Uma terceira função será de armazenar estas informações, conforme a tabela 3,

já validadas, o local de armazenamento também dependerá do dispositivo utilizado, no caso do Arduino em um cartão SD, ou se for utilizado o Raspberry pode ser armazenado diretamente em um banco de dados local.

Tabela 3 – Descrição dos dados coletados

Atributo	Descrição
id_produto	identificação da propriedade rural;
data	data da coleta dos dados;
hora	hora da coleta dos dados;
temperatura	temperatura interna do tanque de resfriamento;
temperatura_amb	temperatura ambiente;
umidade_amb	umidade ambiente;
litros	quantidade de litros armazenados no tanque de resfriamento;
consumo	consumo de energia elétrica.

Fonte: Autor (2020)

A última de suas funções, a quarta, será a de servir como uma *Road Side Unit* que servirá como base para uma comunicação oportunística, que é o encontro entre dois nós, não programado, possibilitando assim a transferência dos dados armazenados na camada *Fog*, utilizando uma interface de comunicação.

Esta comunicação será executada no momento em que o caminhão tanque efetuar a coleta do leite na propriedade rural. Foram avaliadas diferentes tecnologias como *Wireless Personal Area Network* (WPAN) e *Wireless Local Area Network* (WLAN) para determinar aquela que possua as características adequadas para a comunicação e transferência dos dados armazenados no *Fog*. Optou-se pela utilização da tecnologia *Bluetooth*, pois, os estudos efetuados por Frank et al. (2014), relatado no capítulo do referencial teórico deste trabalho demonstram ser uma tecnologia eficiente para este fim.

No momento da transferência dos dados será gerado pela camada *Fog*, instalada no produtor, informações complementares, que também serão enviadas para o *smartphone* do responsável pela coleta do leite. A seguir serão detalhadas as informações:

- id\_produto: identificação do produtor;
- data\_hora: data e hora da coleta do leite no produtor;
- temperatura: temperatura atual do leite no tanque de resfriamento;
- quantidade: quantidade de leite armazenado no tanque de resfriamento.

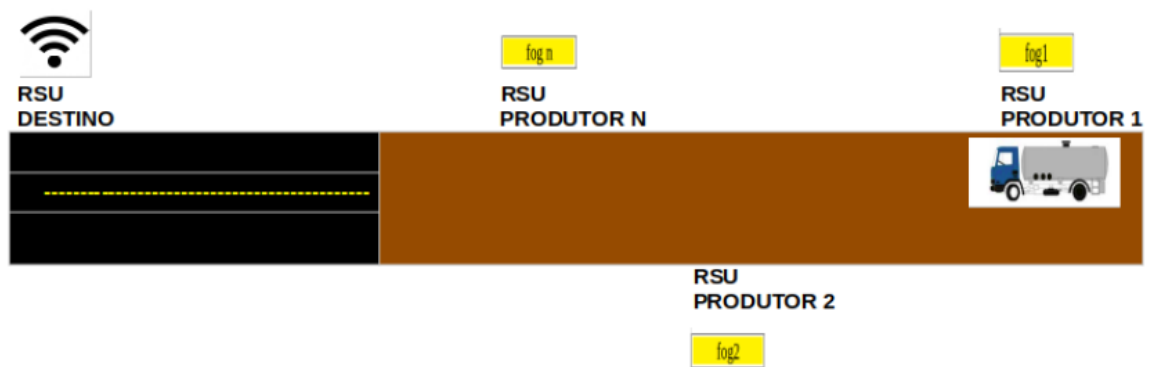
Assim em cada produtor que o transportador efetuar a coleta, serão enviados pela camada *Fog* do produtor dois conjuntos de dados, dados do monitoramento desde a última

coleta e as informações explicitadas acima.

### 4.3 Comunicação entre Camadas - VANET/DTN

O dispositivo *Fog* de cada produtor (figura 15), irá atuar como uma infraestrutura (RSU) onde o *smartphone* do responsável pela coleta do leite, que podemos definir como uma *On Board Unit* (OBU), realizando uma comunicação chamada de Veículo para Infraestrutura, coletando os dados da camada em névoa de cada produtor, consolidando os dados na forma de um *data warehouse*.

Figura 15 – *Vanet/DTN*



Fonte: Autor (2020)

Por meio de princípios de *Vehicular Ad hoc Networks* (VANET), estes dados, uma vez efetuada toda a coleta da rota de cada caminhão, utilizando o conceito de *Delay Tolerant Networks* (DTN), valendo-se da camada de agregação (*bundle*), onde os dados serão armazenados até o veículo chegar ao seu destino, no caso a indústria, deve ser executado o envio destes dados para a nuvem, utilizando uma arquitetura de rede, que pode ser a própria rede móvel do aparelho celular ou uma rede fornecida por uma *Road Side Unit* instalada na indústria. A proposta é que seja utilizada a estrutura (RSU), oferecida pela indústria, razão que será explicada na próxima seção.

#### 4.4 Nuvem

Para Wang et al. (2008), *Cloud Computing* fornece serviços de *hardware*, *software* e armazenamento de dados. Os dados coletados serão enviados para um banco de dados, onde uma vez consolidados na nuvem de todos os produtores, servirão como base para conhecimentos e tomada de decisões, tanto para o produtor, quanto para a própria indústria. O produtor poderá, através de aplicativos, ter acesso quanto ao consumo de energia, se o tempo de refrigeração está no padrão exigido, podendo, por exemplo, antecipar a manutenção em seu tanque de resfriamento, caso seja detectado alguma anomalia.

O caminhão tanque ao chegar na indústria, obrigatoriamente, a temperatura do leite deve ser aferida, conforme determina a legislação vigente. Ao se realizar a comunicação com a RSU, instalada na indústria, deverá ser informada a temperatura que se encontra o leite na chegada à indústria. Desta forma o sistema pode gerar um arquivo contendo as informações, conforme a tabela 4.

Tabela 4 – Dados da entrega do leite na indústria

Atributo	Descrição
id_rota	identificação da rota;
data	data da entrega;
hora	hora da entrega;
temperatura	temperatura do leite na chegada a indústria;
litros	quantidade de litros de leite coletado nas propriedades.

Fonte: Autor (2020)

Com base nestes dados, a indústria poderá verificar se é necessária realizar alguma alteração nas rotas pré-definidas para cada caminhão tanque, garantindo assim que o produto chegue até seu destino, obedecendo à legislação vigente.

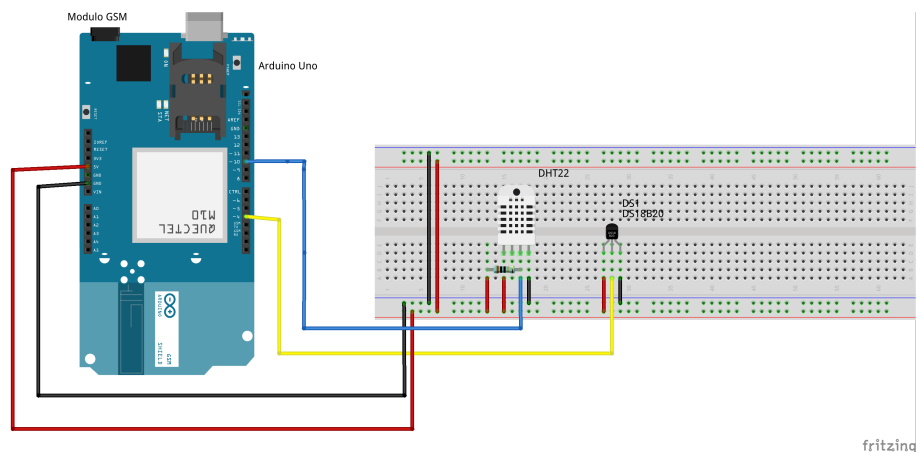
#### 4.5 Implementação do Protótipo

Foi desenvolvido um protótipo utilizando Arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica que torna o processo de automação mais acessível a todos. Para a construção do protótipo foi utilizado uma placa Arduino Uno que é um microcontrolador,



possuindo pinos de entrada/saída, tanto analógicas como digitais, uma conexão USB, podendo ser utilizado como uma fonte de alimentação um adaptador CA/CC ou utilizando bateria (ARDUINO, 2018).

Figura 16 – Protótipo de monitoramento de temperatura do resfriador de leite



Fonte: Autor (2018)

Na proposta do protótipo (figura 16), foram utilizados alguns sensores e módulos próprios para Arduino. Optou-se por utilizar o sensor DHT22 para monitorar a temperatura e umidade ambiente, tendo em vista que é um sensor com capacidade de medir a temperatura na faixa de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com a umidade relativa do ar na faixa de 0 a 100%. Este foi escolhido por ser mais estável que o sensor DHT11, já que testes preliminares com este outro modelo mostrou uma grande variação da temperatura em pouco tempo. Concluiu-se que, mesmo possuindo um custo mais elevado, o DHT22 mostrou-se mais eficiente em relação ao DHT11.

Para o monitoramento da temperatura do leite armazenado no tanque de resfriamento, foi utilizado o sensor a prova d'água DS18B20. A sua faixa de medição é de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com uma tolerância de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A escolha deste sensor se deu pelo fato de o mesmo ser a prova d'água, suportando locais mais úmidos para mensurar a temperatura do leite no tanque de resfriamento.

Um *Data Logger Shield* para Arduino foi utilizado para armazenar as informações coletadas pelo protótipo. As informações são armazenadas em um Cartão SD com capacidade de 8 GB, com a data e hora, obtidas através do relógio de tempo real RTC DS1307 integrado com a placa. Para que o relógio funcione, é necessária uma pilha CR1220.

Um display TM1637 foi adotado para mostrar informações como hora, temperatura do tanque de resfriamento, temperatura e umidade do ambiente, atualizadas

a cada 15 segundos. Dentre os vários displays disponíveis para Arduino a escolha pelo TM1637 se deu pelo fato de ser um visor com 4 dígitos, satisfatório para a visualização das informações do protótipo proposto, bem como ser de fácil prototipação e pelo seu reduzido custo.

A tabela 5 mostra o custo do protótipo, com valores expressos em reais e dólar com cotação de R\$ 4,10 na data de 10/09/2019.

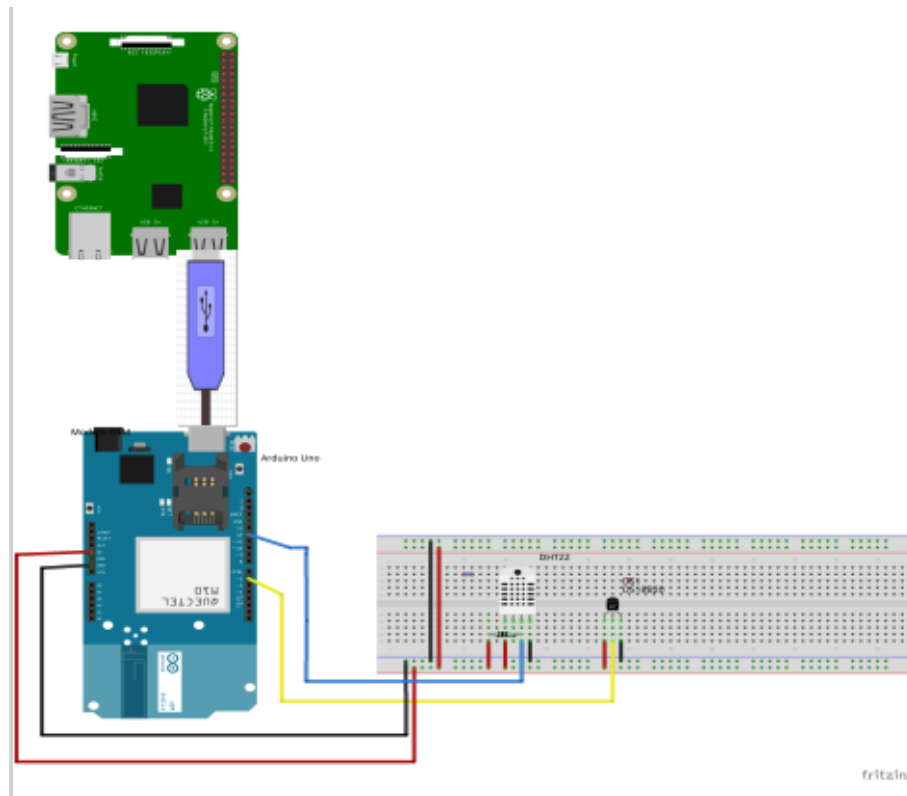
Tabela 5 – Placas e sensores

Descrição	Real	Dólar
Placa Arduino Uno	R\$ 54,90	US\$ 13,40
Sensor DS18B20	R\$ 16,90	US\$ 4,12
Sensor DHT22	R\$ 49,90	US\$ 12,17
Display TM1637	R\$ 14,90	US\$ 3,64
Data Logger	R\$ 27,90	US\$ 6,80
Fonte de Alimentação	R\$ 39,90	US\$ 9,73
Pilha CR1220	R\$ 15,00	US\$ 3,65
Cartão de Memória de 8GB	R\$ 25,00	US\$ 6,09
Total	R\$ 244,40	US\$ 59,60

Fonte: Filipeflop (2019)

O Raspberry PI é um computador de placa única, montado em uma placa de circuito impresso, tendo os mesmos componentes que qualquer outro computador, processador, memória, sendo utilizado um cartão SD como o principal dispositivo de armazenagem (NEWCOMB, 2018). O Raspberry pode facilmente ser ligado a uma placa Arduino Uno através da porta serial do Arduino com a porta USB do Raspberry, conforme a figura 17. A justificativa da utilização do Raspberry com Arduino, se deve ao fato do maior poder de processamento encontrado no Raspberry e tendo um sistema operacional instalado, pode ser utilizado, por exemplo, o protocolo MQTT recebendo os dados dos sensores ligados ao Arduino, assim aproveitando toda a prototipação já realizada sem a necessidade de refazer no Raspberry.

Figura 17 – Protótipo de monitoramento utilizando Raspberry



Fonte: Autor (2020)

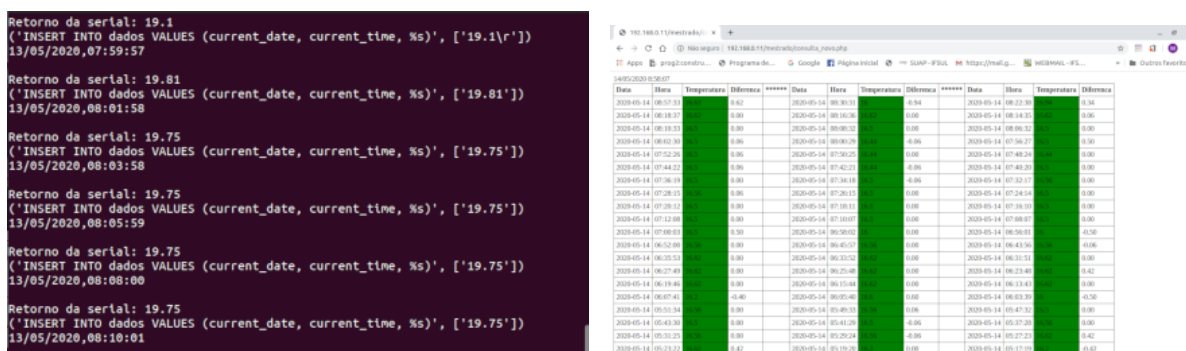
Foi utilizado um Raspberry PI 3 Model B (RASPBerryPI, 2020), que é um modelo mais antigo de terceira geração, possuindo a seguinte especificação:

- Quad Core 1.2 GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 100 Base Ethernet
- 40-pin extended GPIO
- USB 2 ports
- Pole stereo output and composite video port
- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A.

Foi instalada a versão “Linux raspberrypi 4.14.79-v7+”, onde após a instalação do Sistema Operacional, facilmente pode ser instalado qualquer outro aplicativo ou linguagem de programação.

Para a captura dos dados monitorados pelo Arduino foi utilizada a linguagem de programação Python, rodando no Raspberry sendo estes armazenados diretamente em um banco de dados. A figura 18 mostra os dados sendo recebidos pelo Raspberry e ao mesmo tempo já sendo inseridos em um banco de dados, completando com uma consulta simples, utilizando a linguagem PHP, dos dados recebidos da plataforma Arduino.

Figura 18 – Arduino conectado ao Raspberry PI 3



Fonte: Autor (2020)

Scripts podem ser escritos para que os dados armazenados no banco de dados sejam enviados, tanto diretamente para a nuvem, caso exista conectividade disponível ou diretamente para o *smartphone* do coletor do leite na sua chegada a propriedade.

Existe ainda a possibilidade de todos os sensores serem ligados diretamente ao Raspberry, eliminando assim a utilização da placa Arduino. A grande vantagem da utilização do Raspberry é pelo fato de possuir um sistema operacional e maior poder de processamento, além de possuir integrada, conexão *Bluetooth*, sem necessidade de prototipação, para a transferência dos dados entre as camadas, simplificando o processo. Outra vantagem é a utilização de uma rede WiFi, caso esteja disponível na propriedade, desta forma os dados podem ser enviados diretamente para a camada da nuvem e ainda quando necessário realizar atualizações remotas de software, aproveitando assim a tecnologia.

## 5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve o ambiente e o planejamento dos experimentos adotados para a avaliação do modelo proposto. Na seção 5.1 são apresentados o planejamento da coleta dos dados do tanque de resfriamento. Na seção 5.2 são apresentados os testes realizados com os sensores de consumo de energia e pH. Já na seção 5.3 são apresentados os testes de conexões e transferências de dados. E por fim na seção 5.4 o protocolo MQTT.

### 5.1 Sensor Temperatura e Ultrassônico

E em um primeiro momento foram prototipados o *Data Logger Shield*, display TM1637 e os sensores de temperatura DS18B20 e DHT22, respectivamente para a temperatura do tanque de resfriamento e temperatura e umidade ambiente, alguns testes foram realizados. Estes realizados fora do ambiente rural tendo como o objetivo de verificar o funcionamento da coleta das variáveis e o armazenamento no cartão SD. Verificado tais fatores sentiu-se a necessidade de realizar um experimento em um ambiente que se aproximasse do cenário real, onde o sensor DS18B20 foi utilizado dentro de uma geladeira.

Testado o seu funcionamento fora do ambiente rural, foi realizada uma visita a propriedade rural, com o objetivo de verificar a melhor forma de instalar o sensor de temperatura para que coletasse a temperatura interna do tanque. O primeiro tanque em que foi efetuada a coleta dos dados possuía uma capacidade de armazenamento de 1.000 litros. O tanque possui duas tampas na parte de cima, uma para abertura total do tanque e outra menor onde a cada ordenha é introduzida a mangueira do leite. O sensor DS18B20 foi instalado na tampa pequena. Após a instalação para a primeira coleta dos dados, foi observado por algum tempo, antes, durante e após a ordenha, a temperatura informado pelo protótipo e a temperatura informada pelo próprio visor de temperatura do tanque, verificando uma pequena variação, ficando no limite de precisão do sensor DS18B20 que é de  $\pm 0,5$  °C. Após um período de 10 dias de monitoramento, o protótipo foi retirado do tanque para as análises preliminares dos dados coletados.

Uma segunda etapa de monitoramento foi realizada, acrescentando ao protótipo o sensor ultrassônico para verificar a quantidade de litros de leite armazenado no tanque de resfriamento. Nesta etapa o tanque de resfriamento foi substituído por um tanque com capacidade de 2.000 litros. O sensor DS18B20 foi instalado no mesmo local da etapa

anterior, já o sensor ultrassônico foi fixado na tampa pequena. O tanque de resfriamento possui uma marca, que é o ponto máximo de medição da régua, utilizada pelo coletor para verificar a quantidade de leite. Para que pudesse chegar ao volume armazenado no tanque pelo sensor ultrassônico foi verificado a distância entre o ponto máximo de medição da régua até o fundo do tanque. Após um período de coleta de dados, dois problemas foram encontrados. Uma diferença entre o volume monitorado pelo sensor e o volume registrado pelo responsável pela coleta e a diferença de temperatura interna do tanque, explicado no próximo capítulo.

Para solucionar o problema da diferença do tanque a solução encontrada foi aumentar o comprimento do cabo, que por padrão é de 1 metro, para que o sensor pudesse ser acondicionado para uma parte mais inferior do tanque. Antes de efetuar nova coleta na propriedade rural, foram realizados alguns testes, não na propriedade rural, com o objetivo de verificar se o aumento do cabo não resultou em diferença de temperatura medida pelo sensor. Para estes testes o protótipo ficou ligado e a temperatura coletada pelo sensor, comparada ao sensor DHT22, o qual não resultou em diferenças significativas.

## **5.2 Sensor de Consumo de Energia e pH**

O sensor utilizado para testar o consumo de energia foi o sensor de corrente CA não invasivo 100A SCT-013. Foram efetuados alguns testes com este sensor, para tal foi feita uma extensão para que apenas um dos fios passasse pelo sensor, como a maioria dos aparelhos a tomada vem coberta por uma proteção. O projeto foi testado em alguns aparelhos, como um aquecedor elétrico, carregador de celular, sendo o resultado obtido em amperes.

Foi verificado a possibilidade de teste do sensor na propriedade rural, o que não foi possível, pois os fios que chegavam até a tomada onde o tanque estava ligado, já continham, antes, outras ligações, tratando-se de uma ligação antiga. Foi verificado que para medir o consumo de energia do tanque a fiação que chega até a tomada onde o mesmo é alimentado deve ser exclusiva para o mesmo.

O módulo sensor de pH Ph4502c com eletrodo para Arduino, é formado por um módulo eletrônico que faz a comunicação com o Arduino e um eletrodo que pode ficar submerso na água.

Foi realizada a prototipação do sensor no Arduino e realizado alguns testes, primeiro teste foi realizado utilizando uma água mineral. Ressaltando que os testes destes

sensores foram apenas para verificar o seu funcionamento e viabilidade de uso.

### 5.3 Testes de Conexões/Transferências

Para o teste de transferência dos dados presente na camada *fog* para um aparelho celular *Smartphone* foi utilizado o Raspberry, sendo copiado o arquivo para o cartão SD onde o sistema operacional está instalado. O motivo de não utilizar o protótipo Arduino é que não foi prototipado o módulo *Bluetooth*.

O teste foi realizado na propriedade rural, no mesmo local onde o protótipo estava instalado. Foram verificados a velocidade de transferência de 5 distâncias diferentes. Distância de 1 metro simulando que o coletor do leite esteja ao lado do tanque de resfriamento. Já as distâncias de 5 m e 10 m, para simular se o coletor for efetuar a recepção dos dados, do lado de fora da sala onde o tanque está instalado, ou seja, na parte traseira do caminhão tanque, que fica uma distância entre 5 m e 10 m onde o tanque está instalado. Já as distâncias de 12 m e 15 m, caso o coletor efetue a recepção dos dados na parte da frente do caminhão.

Foram realizados testes de transmissão dos dados coletados para a Nuvem, simulando o envio dos dados no momento em que o caminhão tanque chegue até a indústria, que não foram realizados na propriedade rural, pelo fato de não possuir uma conectividade WiFi e o sinal de 3G/4G no local onde o protótipo estava instalado não é de boa qualidade.

Para estes testes foi utilizado o mesmo arquivo do teste anterior, mas sendo replicado os dados 60 vezes, ou seja, simulando que o arquivo contenha os dados de 60 produtores de uma determinada linha. O tamanho do arquivo ficou em 7,5 MB. Foi utilizado o Aplicativo Google Drive do próprio aparelho celular. No momento da realização da transferência do arquivo, não foi desativada nenhuma outra conexão em ambas as redes. As velocidades de transmissão do pacote contratado na rede móvel 4G são de 5 Mbps de *download* e 500 Kbps de *upload*, já para a rede WiFi as velocidades são 35 Mbps de *download* e 5 Mbps de *upload*.

## 5.4 Protocolo MQTT

Para o teste do protocolo MQTT, foi utilizado o projeto chamado Mosquitto que fornece padrões de implementação do protocolo MQTT, onde pode ser implementado tanto o servidor como o cliente. O protocolo MQTT utiliza um modelo de *publisher/subscribe* tendo como características que é projetado para aplicações que utilizam pouca banda de rede podendo ser implementado em dispositivos de baixo consumo de energia, como microcontroladores que podem ser utilizados com sensores. O Mosquitto deve ser utilizado em situações com trocas de mensagens pequenas entres os dispositivos (LIGHT, 2017).

Para o teste do Protocolo MQTT, foi instalado o Mosquitto (*broker*) em um Raspberry PI 3 Model B. A instalação é bastante simples, utilizando apenas um comando:

**“sudo apt-get install mosquitto-clients”**

Foi instalado um sensor DS18B20 no Raspberry, para que pudesse ser feita a leitura da temperatura e ser enviada para o *broker*, para isso foi utilizada a linguagem de programação *Python*. Efetuada a leitura da temperatura, o próprio script envia a temperatura (*publisher*) para o *broker*.

Ainda foi instalado um aplicativo no *Smartphone* chamado MQTT Dash, sendo necessário configurar o IP onde o *broker* está instalado, criar interface para visualização dos dados coletados pelo sensor. Vale ressaltar que estes testes também não foram executados na propriedade rural.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados dos testes realizados com o protótipo na propriedade rural e também as especificações dos sensores não testados no local, porém avaliado sua implementação. Os resultados são apresentados por figuras, tabelas e gráficos, acompanhados de discussões.

### 6.1 Sensor Temperatura do Leite

Na primeira etapa, após a verificação do funcionamento do protótipo, foi feita a sua instalação em um tanque de expansão/resfriamento de leite, tendo como objetivo testar o seu comportamento em condições reais de coleta dos dados.

Foram realizadas coletas dos dados entre os dias 01/11/2018 a 10/11/2018 em um tanque de resfriamento com capacidade de 1.000 litros. O protótipo realizou a leitura dos dados a cada minuto, coletando a temperatura interna do tanque de leite, a temperatura e a umidade ambiente, armazenando os mesmos em um arquivo texto no cartão SD conforme a figura 19.

Figura 19 – Arquivo texto armazenado no cartão SD

```
01/11/2018,07:00:40,2.50,18.80,89.30
01/11/2018,07:01:41,2.50,18.10,89.70
01/11/2018,07:02:43,2.50,17.90,90.60
01/11/2018,07:03:45,2.50,18.30,91.00
01/11/2018,07:04:46,2.50,18.20,90.90
01/11/2018,07:05:48,2.50,17.50,90.50
01/11/2018,07:06:49,2.50,17.70,90.80
01/11/2018,07:07:51,2.50,17.60,90.60
01/11/2018,07:08:52,2.50,17.50,90.60
01/11/2018,07:09:54,2.50,17.30,90.70
01/11/2018,07:10:56,2.50,17.50,90.90
01/11/2018,07:11:57,2.50,18.00,91.00
01/11/2018,07:12:59,2.50,17.60,90.50
01/11/2018,07:14:00,2.50,17.40,90.30
01/11/2018,07:15:02,2.50,18.00,90.90
01/11/2018,07:16:04,2.50,17.50,90.70
01/11/2018,07:17:05,2.50,17.50,90.60
01/11/2018,07:18:07,2.50,17.20,90.50
01/11/2018,07:19:08,2.50,17.80,90.70
01/11/2018,07:20:10,2.50,18.00,90.60
```

Fonte: Autor (2018)

O formato do arquivo criado pelo protótipo é de forma sequencial, onde em cada linha é armazenado a data e hora da coleta seguido pela temperatura interna do tanque e temperatura e umidade ambiente, sendo que cada variável é separada por um delimitador objetivando assim a sua organização e facilitando a sua importação para um banco de

dados.

Partindo dos dados coletados na primeira etapa, foi realizado uma análise das variáveis, utilizando inicialmente, somente os dados da temperatura do tanque de resfriamento da manhã, entre às 7 horas e 8 horas, intervalo esse em que o caminhão tanque faz a coleta do leite. A ordenha na parte da manhã tem início por volta das 5 horas e 30 minutos, encerrando em torno de 7 horas da manhã. Nesse período, a coleta do leite pelo caminhão foi realizada nos dias 1, 3, 5, 7 e 9 de novembro. Os dados são representados na tabela 6, possuindo 6 colunas, representando as seguintes informações:

- dia: data que foi realizada a coleta dos dados;
- t1: temperatura do tanque às 7 horas;
- t2: temperatura do tanque às 7 horas e 30 minutos;
- t3: temperatura do tanque às 8 horas;
- t2-t1: diferença da temperatura das 7 horas e 30 minutos para às 7 horas;
- t3-t1: diferença da temperatura das 8 horas para às 7 horas;
- Coleta: indica se houve coleta do leite.

Tabela 6 – Dados coletados pela parte da manhã

dia	t1	t2	t3	t2-t1	t3-t1	coleta
01	2,5	2,5	10,31	0	7,81	sim
02	6,81	4,31	2,13	-2,5	-4,68	não
03	2,5	2,5	14	0	11,5	sim
04	8	5,63	3,5	-2,37	-4,5	não
05	5,31	3,69	10,38	-1,62	5,07	sim
06	3	1,56	1,63	-1,44	-1,37	não
07	3,88	2,50	14,88	-1,38	11	sim
08	5,31	3,19	1,50	-2,12	-3,81	não
09	2,44	2,50	10,69	0,06	8,25	sim
10	5,50	3,75	2,19	-1,75	-3,31	não

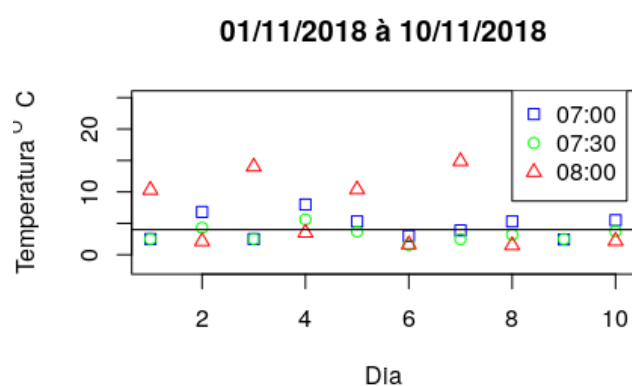
Fonte: Autor (2018)

Observa-se que a coluna t3 nos dias que houve coleta do leite encontra-se elevada, fato que se explica, por já ter sido realizada a coleta e o tanque estar vazio e desligado, enquanto a coluna t2, nestes dias encontra-se abaixo dos 4 °C, temperatura

alvo da IN. Destaca-se o fato que o tanque encontrava-se com sua capacidade máxima de armazenamento nos dias de coleta, sendo que o leite ordenhado nestes dias não foi armazenado neste tanque. Já nos dias em que não houve coleta, o leite ordenhado foi adicionado a este tanque, fato que pode ser verificado pelas colunas t1 e t2 destes dias, onde se verificou uma temperatura mais elevadas em relação aos dias em que houve a coleta enquanto a coluna t3 nestes dias encontra-se no exigido.

Os mesmos dados da tabela anterior estão representados na figura 20, traçando uma linha horizontal que representa a temperatura de 4 °C.

Figura 20 – Dados coletados em três intervalos de tempo



Fonte: Autor (2018)

Pode-se observar que em todas as coletas realizadas pelo caminhão tanque (dias 1, 3, 5, 7 e 9), a temperatura se mostrou igual ou abaixo de 4 °C no horário das 7 horas e 30 minutos. Já nos dias que não houve coleta do leite a temperatura ficou no padrão até às 8 horas da manhã, ou seja, em menos de 3 horas após o início da ordenha.

Também são demonstrados os dados do resfriamento do leite após a ordenha da tarde, tendo início por volta das 17 horas, findando em torno de 19 horas. Em particular, busca-se demonstrar se o tempo de resfriamento do tanque de leite está no exigido pela IN77/2018, ou seja, atingiu a temperatura de 4 °C em até 3 horas após o término da ordenha. A tabela 7 mostra os dados do monitoramento realizado pela parte da tarde/noite, contendo 8 colunas que representam os seguintes dados:

- dia: data que foi realizada a coleta dos dados;
- t1: temperatura do leite às 19 horas e 30 minutos (horário normalmente onde a ordenha é encerrada);

- t2: temperatura do leite às 20 horas e 30 minutos;
- t3: temperatura do leite às 21 horas e 30 minutos;
- t4: temperatura do leite as 22 horas e 30 minutos (limite máximo para atingir a temperatura exigida);
- t2-t1: diferença entre as temperaturas t2 e t1;
- t3-t1: diferença entre as temperaturas t3 e t1;
- t4-t1: diferença entre as temperaturas t4 e t1;
- coleta: indica se houve coleta na parte da manhã.

Tabela 7 – Dados coletados na parte da tarde/noite

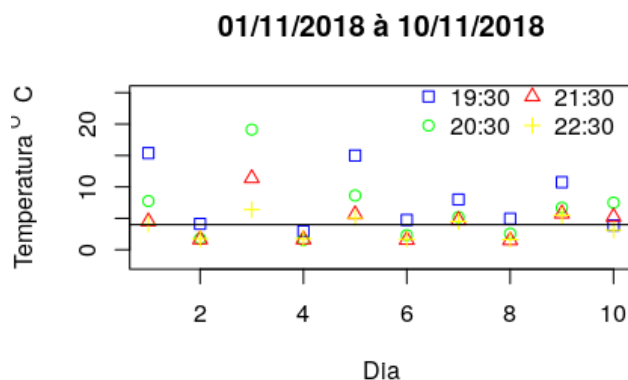
dia	t1	t2	t3	t4	t2-t1	t3-t1	t4-t1	coleta
01	15,38	7,75	4,5	4,06	-7,63	-10,88	-11,32	sim
02	4,13	1,75	1,63	1,75	-2,38	-2,5	-2,38	não
03	29,5	19,12	11,38	6,38	-10,38	-18,12	-23,12	sim
04	2,94	1,56	1,63	1,75	-1,38	-1,31	-1,19	não
05	15	8,63	5,63	5,06	-6,37	-9,37	-9,94	sim
06	4,75	2,31	1,56	1,69	-2,44	-3,19	-3,06	não
07	8	5,19	4,69	4,5	-2,81	-3,31	-3,5	sim
08	4,94	2,56	1,5	1,63	-2,38	-3,44	-3,31	não
09	10,75	6,69	5,75	5,5	-4,06	-5	-5,25	sim
10	3,88	7,5	5,25	3,13	3,62	1,37	-0,75	não

Fonte: Autor (2018)

Nos dias que houve coleta do leite na parte da manhã, a temperatura inicial encontra-se mais elevada em relação aos dias que não houve coleta, devido ao fato de o tanque no início da ordenha estar vazio e desligado. Já nos dias que não houve coleta na parte da manhã a temperatura inicial se encontra menor, pelo motivo de no início da ordenha o tanque já conter leite armazenado e sua temperatura está abaixo da exigida. Também podemos observar, que nos dias 1, 2, 4, 6, 7, 8 e 10, a temperatura até às 22 horas e 30 minutos, em 3 horas após o término da ordenha, atingiu a temperatura de 4 °C. Observando os dias 5 e 9, a temperatura não chegou aos 4 °C, no tempo de 3 horas, fato que se explica pelo começo da ordenha ter ocorrido mais tarde. Os mesmos dados da tabela anterior estão representados na figura 21, traçando uma linha horizontal que

representa a temperatura de 4°C.

Figura 21 – Dados coletados em quatro intervalos de tempo



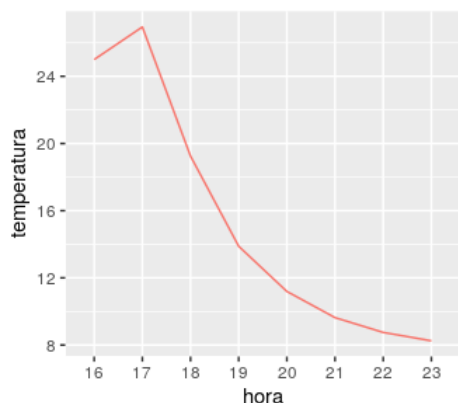
Fonte: Autor (2018)

Pode ser observado um determinado padrão nos dias em que não houve a coleta do leite pela manhã (dias 2, 4, 6, 8 e 10) onde as temperaturas em todos os horários demonstrando são muito semelhantes. Já nos dias em que houve coleta do leite pela manhã a temperatura das 19 horas e 30 minutos são mais elevadas, mas a temperatura das 22 horas e 30 minutos, 3 horas após o término da ordenha, encontra-se no padrão. Cabe ressaltar que no dia 3 houve um atraso no início da ordenha, portanto a temperatura representada é mais elevada que as demais.

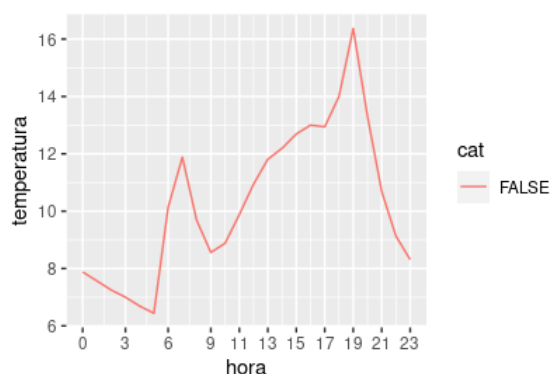
Na segunda etapa, iniciando em 23 de setembro de 2019, foram realizados novos testes com o protótipo, desta vez em um tanque de resfriamento com capacidade de armazenamento de 2.000 litros. Analisaremos, inicialmente, os dados referente ao início do ciclo de ordenha, ou seja, a ordenha na parte da tarde, a primeira, onde o tanque de resfriamento encontra-se vazio iniciando no dia 23 de setembro de 2019, até a quarta ordenha realizada na manhã do dia 25 de setembro de 2019, conforme a figura 22 onde:

- figura 22 (a): representa a primeira ordenha na parte da tarde;
- figura 22 (b): representa a segunda ordenha na parte da manhã e a terceira ordenha na parte da tarde;
- figura 22 (c): representa a quarta ordenha na parte da manhã, antes da coleta do leite pelo caminhão.

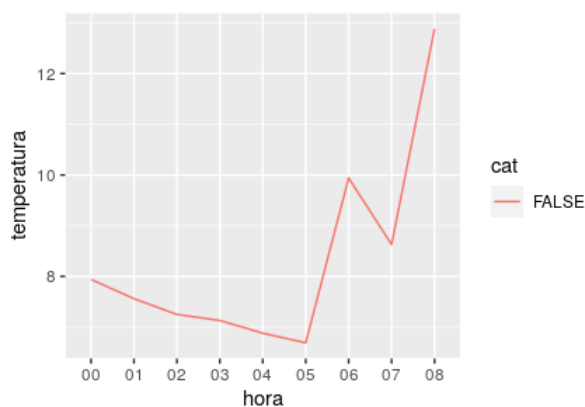
Figura 22 – Ciclo de ordenha até a coleta



(a) 23/09/2019



(b) 24/09/2019



(c) 25/09/2019

Fonte: Autor (2019)

Analisando os gráficos acima, a temperatura do tanque de resfriamento não atingiu 4 °C em nenhum momento, verificando o motivo, foi notado que existe uma diferença de temperatura entre as regiões do tanque de resfriamento. O sensor de medição da temperatura estava instalado na parte superior do tanque, nos dados mostrados na figura 20, a temperatura atingiu o mínimo recomendado, ocorre que estes dados foram coletados no tanque de resfriamento com capacidade de armazenamento de 1.000 litros, já os mostrados na figura 22 foram coletados no tanque de 2.000 litros.

Ao total, nesta segunda etapa, foram coletados 9.427 registros, compreendido entre os dias 23 até o dia 30 de setembro de 2019. Etapa esta que não foi obtido sucesso na coleta dos dados, por existir uma diferença de temperatura entre as partes internas do tanque de resfriamento.

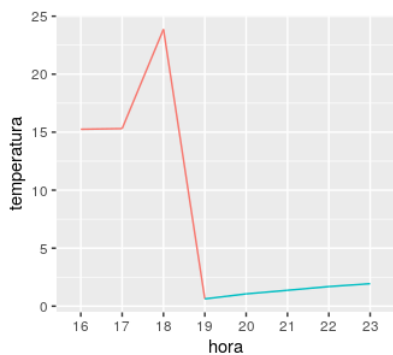
A diferença da temperatura entre as partes internas do tanque ocorre devido ao

fato de o equipamento de resfriamento ter a finalidade de retirar o calor do leite, onde a unidade de resfriamento faz a troca de calor pelo fundo do tanque até que a temperatura atinja os 4 °C. O agitador do leite permanece ligado durante 5 minutos, em intervalos de 20 minutos enquanto a unidade estiver em funcionamento, garantindo desta maneira a homogeneidade da temperatura do leite (SULINOX, 2018).

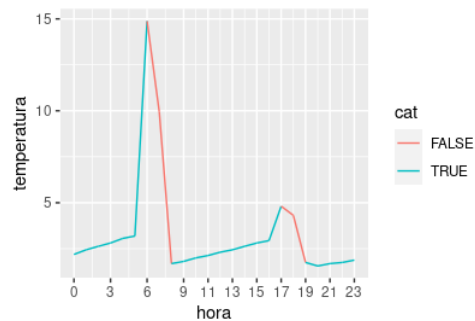
Na terceira etapa o sensor de temperatura foi alocado no tanque de resfriamento mais para baixo, antes da metade do tanque. A figura 23 mostra os dados coletados desta maneira, sendo que a mesma representa um ciclo de 4 ordenhas, onde:

- figura 23 (a): representa a primeira ordenha na parte da tarde;
- figura 23 (b): representa a segunda ordenha na parte da manhã e a terceira ordenha na parte da tarde;
- figura 23 (c): representa a quarta ordenha na parte da manhã, antes da coleta do leite pelo caminhão.

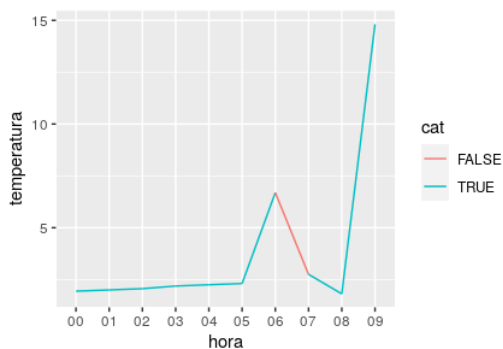
Figura 23 – Ciclo de ordenha até a coleta



(a) 21/10/2019



(b) 22/10/2019



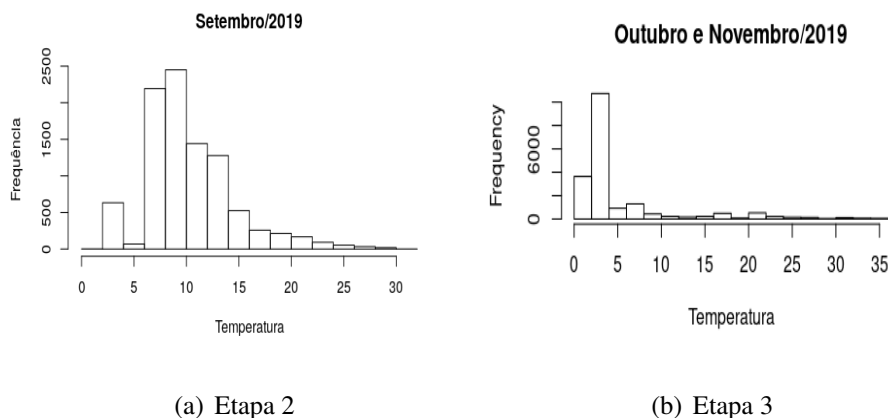
(c) 23/10/2019

Fonte: Autor (2019)

Conforme os resultados mostrados na figura 23, pode ser verificado que a temperatura do tanque de resfriamento atingiu os 4°C em grande parte do período. A figura 23 (a), inicia com o tanque vazio e no início da ordenha, com a entrada do leite, a temperatura se eleva bastante, sendo que no horário normal de término da ordenha, por volta das 19 horas e 30 minutos a temperatura já se encontra no padrão, onde foi representada pela cor da linha em azul. Já na figura 23 (b), observa-se dois picos na temperatura, ou seja, momento em que a ordenha é realizada, nota-se que o segundo pico é menor que o primeiro, devido existir uma maior quantidade de leite já estar armazenado no tanque, fazendo com que uma nova entrada no tanque aumenta pouco a temperatura. Comportamento semelhante pode ser observado na figura 23 (c), onde a única diferença se encontra com uma elevação da temperatura após o recolhimento do leite e o tanque estar desligado e vazio.

A figura 24 faz uma comparação através da distribuição das frequências dos dados coletados nas etapas 2 e 3. Os dados representados são de todo período de coleta, não representando apenas um ciclo de ordenha até a coleta.

Figura 24 – Histograma comparativo das etapas 2 e 3



(a) Etapa 2

(b) Etapa 3

Fonte: Autor (2020)

A figura 24 (a) representa um conjunto de 9.427 dados coletados, compreendido entre os dias 23 até 30 de setembro de 2019. A maior concentração dos valores da temperatura do tanque de resfriamento ficou entre valores de 5 °C à 15 °C, com uma média de 10,24 °C. Devido ao fato já relatado, que foi encontrado uma diferença de temperatura no tanque de resfriamento não obtendo sucesso na coleta dos dados desta etapa. Já a figura 24 (b) corresponde a um conjunto de 19.497 dados coletados, compreendido entre os dias 12 de outubro até 8 de novembro de 2019. Já neste gráfico, a maior concentração



da temperatura ficou entre 0 °C e 10 °C, com uma média de 5,24 °C. Cabe salientar novamente, que para a obtenção destes dados o sensor de temperatura no tanque de resfriamento, foi realocado para uma parte mais inferior.

A tabela 8 ilustra o tempo de resfriamento dos dados coletados na terceira etapa, pela parte da manhã. A coluna hora inicial, foi tomada com base no horário habitual de início de ordenha e a coluna hora final mostra o momento em que o tanque de resfriamento atingiu a temperatura menor que 4 °C, registrando o horário em que cada evento aconteceu, chegando assim ao tempo que o tanque levou para atingir a temperatura recomendada.

Tabela 8 – Dados coletados na parte da manhã

Data	Hora Inicial	Temperatura	Hora Final	Temperatura	Tempo
14/10/2019	05:30	7,75	06:59	3,94	01:29
15/10/2019	05:31	5,00	07:00	3,75	01:29
16/10/2019	05:30	6,44	06:47	3,88	01:17
17/10/2019	05:30	8,19	07:13	3,94	01:43
18/10/2019	05:30	6,69	06:45	3,94	01:15
21/10/2019	05:30	6,56	07:02	3,94	01:32
22/10/2019	05:30	8,56	07:27	3,81	01:57
23/10/2019	05:30	6,19	06:40	3,94	01:10
28/10/2019	05:30	6,63	06:52	3,94	01:22
29/10/2019	05:30	7,06	06:49	3,88	01:19
31/10/2019	05:30	6,88	07:01	3,94	01:31
01/11/2019	05:30	6,31	06:35	3,88	01:05
02/11/2019	05:30	7,81	07:13	3,94	01:43
07/11/2019	05:30	6,56	06:50	3,94	01:20

Fonte: Autor (2020)

Em todos os dias a temperatura do leite atingiu a exigida pela legislação, cabe salientar que a mesma exige que o leite esteja em 4 °C em até 3 horas após a ordenha, mas o horário inicial considerado foi o de início de ordenha. Destaca-se que em todos os dias a temperatura se encontrava apta a ser recolhida pelo caminhão, coleta esta que é realizada entre às 7 e 8 horas.

Já a tabela 9 mostra o tempo de resfriamento, pela parte da tarde/noite. A coluna

hora inicial foi tomada com base no horário habitual de início de ordenha e a coluna hora final mostra o momento em que o tanque de resfriamento atingiu a temperatura menor que 4 °C, registrando novamente a temperatura em que ambos eventos ocorrerem e o tempo até ser atingido a temperatura desejada.

Tabela 9 – Dados coletados na parte da tarde/noite

Data	Hora Inicial	Temperatura	Hora Final	Temperatura	Tempo
12/10/2019	17:00	8,75	18:44	3,88	01:44
13/10/2019	17:00	19,75	19:04	3,69	02:04
14/10/2019	17:00	6,44	19:13	3,94	02:13
15/10/2019	17:00	16,94	18:29	3,88	01:29
16/10/2019	17:00	7,13	18:44	3,94	01:44
17/10/2019	17:00	18,50	18:38	3,94	01:38
18/10/2019	17:00	5,06	18:49	3,94	01:49
20/10/2019	17:00	5,94	18:36	3,88	01:36
21/10/2019	17:00	15,31	18:44	3,88	01:44
22/10/2019	17:00	4,81	18:51	3,94	01:51
27/10/2019	17:00	26,50	18:04	3,75	01:04
30/10/2019	17:00	12,94	19:37	3,88	02:37
31/10/2019	17:00	33,81	20:15	3,94	03:15
01/11/2019	17:00	4,06	19:03	3,69	02:03
06/11/2019	17:00	32,56	18:36	3,63	01:36
07/11/2019	17:00	5,75	19:00	3,31	02:00

Fonte: Autor (2020)

O final da ordenha normalmente é por volta das 19 horas e 30 minutos, e em todos os dias, assim como na parte da manhã, a temperatura do leite atingiu a exigida pela legislação. Pode ser observado que em alguns dias a temperatura na hora inicial é bastante elevada em relação ao dia anterior, isso se explica pelo fato de o tanque de resfriamento estar vazio e desligado. Também em alguns dias a temperatura atingiu o ideal antes mesmo do término da ordenha.

Para cada propriedade rural produtora de leite, a coleta do leite efetuada pela indústria pode ocorrer todos os dias ou em dias alternados. Isso depende da estratégia utilizada pela indústria, dependendo da distância da propriedade até o local

de recebimento do produto, a quantidade de leite produzido e ainda a capacidade de armazenamento do tanque de resfriamento do produtor. Na propriedade onde foram efetuados os testes a coleta é efetuada a cada dois dias, ou seja, são efetuadas quatro ordenhas até que o leite seja coletado. A tabela 10 demonstra as 4 ordenhas até a coleta e a próxima ordenha, que chamaremos de ciclo de ordenha-coleta-ordenha, onde é listado os dados de hora em hora atribuindo um evento para cada situação em que o tanque se encontra.

Tabela 10 – Ciclo de ordenha-coleta-ordenha

data	hora	temperatura	evento	data	hora	temperatura	evento
13/10/2019	16:00	20,37	Vazio	14/10/2019	20:00	2,00	Constante
13/10/2019	17:00	19,75	Ordenha	14/10/2019	21:00	1,81	Constante
13/10/2019	18:00	24,62	Ordenha	14/10/2019	22:00	1,88	Constante
13/10/2019	19:00	4,94	Ordenha	14/10/2019	23:00	1,94	Constante
13/10/2019	20:00	1,75	Constante	15/10/2019	0:00	2,00	Constante
13/10/2019	21:00	2,19	Constante	15/10/2019	1:00	2,06	Constante
13/10/2019	22:00	2,19	Constante	15/10/2019	2:00	2,06	Constante
14/10/2019	23:00	2,63	Constante	15/10/2019	3:00	2,13	Constante
14/10/2019	0:00	2,63	Constante	15/10/2019	4:00	2,13	Constante
14/10/2019	1:00	2,88	Constante	15/10/2019	5:00	2,19	Ordenha
14/10/2019	2:00	3,00	Constante	15/10/2019	6:00	6,56	Ordenha
14/10/2019	3:00	3,00	Constante	15/10/2019	7:00	3,00	Ordenha
14/10/2019	4:00	3,38	Constante	15/10/2019	8:00	9,50	Recolhimento/Limpeza
14/10/2019	5:00	3,19	Ordenha	15/10/2019	9:00	11,50	Vazio
14/10/2019	6:00	7,63	Ordenha	15/10/2019	10:00	15,63	Vazio
14/10/2019	7:00	3,81	Ordenha	15/10/2019	11:00	15,94	Vazio
14/10/2019	8:00	1,69	Constante	15/10/2019	12:00	16,19	Vazio
14/10/2019	9:00	1,63	Constante	15/10/2019	13:00	16,75	Vazio
14/10/2019	11:00	1,75	Constante	15/10/2019	14:00	17,50	Vazio
14/10/2019	12:00	1,88	Constante	15/10/2019	15:00	17,06	Vazio
14/10/2019	13:00	1,94	Constante	15/10/2019	17:00	16,94	Ordenha
14/10/2019	14:00	2,00	Constante	15/10/2019	18:00	15,75	Ordenha
14/10/2019	15:00	2,06	Constante	15/10/2019	19:00	1,12	Ordenha
14/10/2019	16:00	2,13	Constante	15/10/2019	20:00	1,31	Constante
14/10/2019	17:00	6,44	Ordenha	15/10/2019	21:00	1,56	Constante
14/10/2019	18:00	11,25	Ordenha	15/10/2019	22:00	2,06	Constante
14/10/2019	19:00	5,19	Ordenha	15/10/2019	23:00	2,19	Constante

Fonte: Autor (2020)

Os dados constantes na tabela 10 iniciam com o tanque de resfriamento vazio,



média medida no dia 13/10/2019 (primeiro salto), medido entre às 9 horas da manhã até às 17 horas, horário que se inicia a ordenha, encontrava-se em 22,09 °C. Já a temperatura média do dia 15/10/2019, medida no mesmo horário da anterior foi de 17,28 °C, então a temperatura que o tanque se encontra no início da ordenha, depende da temperatura ambiente onde o mesmo está instalado.

A tabela 11 representa os dados de uma nova coleta dos dados, demonstrando novamente as 4 ordenhas até a coleta finalizando com a próxima ordenha. Os eventos e os horários foram mantidos iguais aos dados da tabela anterior.

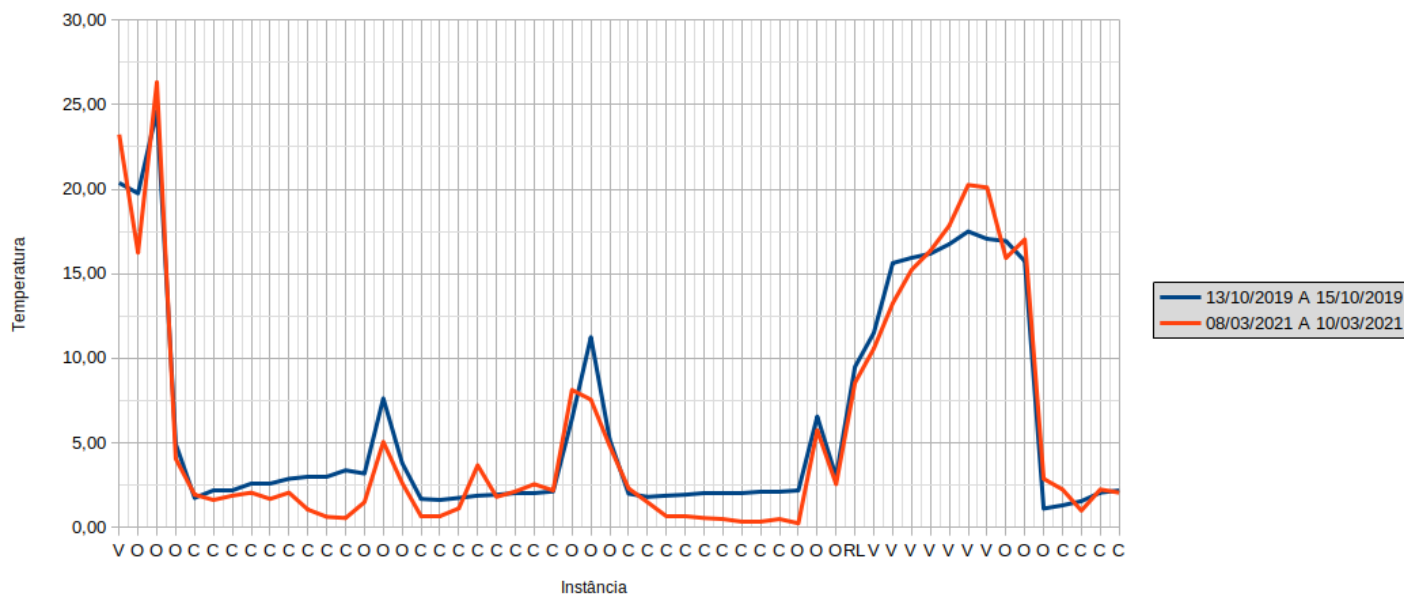
Tabela 11 – Segundo ciclo de ordenha-coleta-ordenha

data	hora	temperatura	evento	data	hora	temperatura	evento
08/03/2021	16:00	23,23	Vazio	09/03/2021	20:00	2,31	Constante
08/03/2021	17:00	16,25	Ordenha	09/03/2021	21:00	1,50	Constante
08/03/2021	18:00	26,32	Ordenha	09/03/2021	22:00	0,63	Constante
08/03/2021	19:00	4,06	Ordenha	09/03/2021	23:00	0,69	Constante
08/03/2021	20:00	1,94	Constante	10/03/2021	0:00	0,56	Constante
08/03/2021	21:00	1,63	Constante	10/03/2021	1:00	0,50	Constante
08/03/2021	22:00	1,88	Constante	10/03/2021	2:00	0,31	Constante
09/03/2021	23:00	2,06	Constante	10/03/2021	3:00	0,38	Constante
09/03/2021	0:00	1,69	Constante	10/03/2021	4:00	0,50	Constante
09/03/2021	1:00	2,06	Constante	10/03/2021	5:00	0,25	Ordenha
09/03/2021	2:00	1,06	Constante	10/03/2021	6:00	5,75	Ordenha
09/03/2021	3:00	0,63	Constante	10/03/2021	7:00	2,56	Ordenha
09/03/2021	4:00	0,56	Constante	10/03/2021	8:00	8,56	Recolhimento/Limpeza
09/03/2021	5:00	1,50	Ordenha	10/03/2021	9:00	10,57	Vazio
09/03/2021	6:00	5,06	Ordenha	10/03/2021	10:00	13,25	Vazio
09/03/2021	7:00	2,63	Ordenha	10/03/2021	11:00	15,23	Vazio
09/03/2021	8:00	0,63	Constante	10/03/2021	12:00	16,36	Vazio
09/03/2021	9:00	0,63	Constante	10/03/2021	13:00	17,85	Vazio
09/03/2021	11:00	1,13	Constante	10/03/2021	14:00	20,25	Vazio
09/03/2021	12:00	3,68	Constante	10/03/2021	15:00	20,10	Vazio
09/03/2021	13:00	1,81	Constante	10/03/2021	17:00	15,93	Ordenha
09/03/2021	14:00	2,13	Constante	10/03/2021	18:00	17,03	Ordenha
09/03/2021	15:00	2,56	Constante	10/03/2021	19:00	2,88	Ordenha
09/03/2021	16:00	2,19	Constante	10/03/2021	20:00	2,25	Constante
09/03/2021	17:00	8,13	Ordenha	10/03/2021	21:00	1,00	Constante
09/03/2021	18:00	7,56	Ordenha	10/03/2021	22:00	2,25	Constante
09/03/2021	19:00	4,81	Ordenha	10/03/2021	23:00	2,06	Constante

Fonte: Autor (2021)

A figura 26, demonstra um comparativo entre as duas tabelas citadas anteriormente, sendo que a linha representada pela cor azul refere-se aos dados da tabela 10, já a linha na cor vermelha representa os dados da tabela 11. A representação inicia com o evento vazio, seguindo para o evento ordenha, está a primeira da parte da tarde finalizando com a primeira ordenha do próximo ciclo.

Figura 26 – Segundo ciclo ordenha-coleta-ordenha



foram menores que as respectivas ordenhas da cor azul, fato explicado pela entrada de uma menor quantidade de leite no tanque no momento da ordenha.

Observando o primeiro evento chamado de constante, ou seja, quando o tanque atinge a temperatura ideal após o fim da ordenha, independente da quantidade de leite e da temperatura ambiente, que medida durante todo o ciclo, onde nos dados de 2019 foi de 15,53 °C e nos dias de 2021 ficou em 23,90 °C, nota-se que as linhas atingem a temperatura exigida pela legislação, no primeiro evento constante após a ordenha.

A temperatura inicial é a mais elevada pelo fato de o tanque estar vazio, mas o que pode ser notado é que a terceira ordenha, realizada na parte da tarde, a temperatura é mais elevada em relação à segunda e quarta ordenha, estas realizadas pela parte da manhã, motivo pelo fato de a temperatura ambiente da parte da tarde ser superior que a da manhã, mas novamente não interferindo no tempo que o tanque leva para atingir a temperatura menor que 4 °C. Assim conclui-se que o tanque de resfriamento, sendo projetado para tal fim, atinge seu objetivo independente da temperatura ambiente e quantidade de leite armazenado no mesmo.

Após os testes efetuados, uma solução de baixo custo é perfeitamente viável de ser instalado em uma propriedade produtora de leite. Após a coleta do leite, o tanque de resfriamento é desligado e higienizado. Os eventos aqui classificados podem ser obtidos com os sensores de temperatura do tanque, sensor de medida de distância, para verificar a quantidade de leite e o sensor de consumo de energia. Os eventos são:

- vazio: tanque vazio e sem consumo de energia;
- ordenha: momento inicial de consumo de energia ou aumento da temperatura interna do tanque;
- constante: quando a temperatura atinge temperatura menor que 4°C.
- recolhimento/limpeza: sem consumo de energia e sem leite armazenado, sendo igual ao evento vazio, porém pode ser diferenciado quando for encontrada a situação pela primeira vez.

Também foi verificado que existe a necessidade de ser coletado o momento exato do início da ordenha, para verificar com maior acurácia o tempo que o tanque de resfriamento está levando para chegar até a temperatura exigida na legislação, fato que pode ser verificado também com o sensor de consumo de energia no momento em que o tanque for religado com o sensor de quantidade do leite, ou seja, se o tanque estiver vazio ou pouca quantidade de leite, se iniciando o consumo de energia é o momento inicial de

ordenha.

## 6.2 Sensor Ultrassônico

Para a medição da quantidade de leite foi utilizado o sensor ultrassônico HC-SR04, que permite fazer leituras entre 2 cm e 4 m com precisão de 3 mm (FREACKS, 2020). A tabela 12, apresenta os dados coletados pelo sensor nos dias da coleta efetuada pelo transportador, apresentando a quantidade medida pelo encarregado do transporte com o cálculo efetuado para chegar a quantidade de litros.

Tabela 12 – Medidas e quantidade de leite em litros

Data	Litros Medido	Distância	Litros Calculados	Diferença
15/10/2019	1.188	44,98	1.189	-1
17/10/2019	1.124	48,51	1.128	-4
19/10/2019	1.134	48,50	1.131	5
21/10/2019	1.106	49,98	1.104	3
23/10/2019	1.106	50,01	1.103	4
25/10/2019	1.070	51,65	1.073	-4
27/10/2019	1.079	51,51	1.076	3
29/10/2019	1.097	50,21	1.099	-2
31/10/2019	1.127	48,63	1.126	1
02/11/2019	1.133	48,35	1.131	2
04/11/2019	1.106	49,65	1.109	-3
06/11/2019	1.115	49,41	1.113	2
08/11/2019	1.088	50,68	1.091	-3

Fonte: Autor (2020)

O tanque de resfriamento possui uma profundidade total de 113,7 cm, até o ponto máximo de medição pela régua, correspondendo a um total de 1.968 litros. O sensor foi instalado a uma distância de 115,9 cm do fundo do tanque, com uma diferença de 2,2 cm. Para o cálculo da quantidade de litros, observando que foi subtraído da medida do sensor o valor da diferença de 2,2 cm, aplicando a seguinte equação 1:



$$\text{litros} = \text{capacidade} - ((\text{medida} * \text{capacidade}) / \text{profundidade}) \quad (1)$$

Onde:

- litros: total de litros calculado;
- capacidade: capacidade total de armazenamento do tanque (1.968 litros);
- medida: valor resultante da medição do sensor subtraído a diferença de 2,2 cm;
- profundidade: profundidade interna em cm do tanque de resfriamento, até o ponto limite de medição da régua (113,7 cm).

Percebe-se na tabela 12, uma diferença entre os valores medidos pelo responsável pela coleta, que também não pode ser considerado como um valor preciso, devido ao fato de a tabela de conversão (figura 11 b) apresentar valores somente entre 0,5 cm, com os valores medidos pelo sensor. Esta diferença se explica por dois motivos, o primeiro pelo fato de o sensor escolhido ter uma precisão de 3 mm, ou seja, pode variar para mais ou para menos.

A escolha deste sensor foi baseado em um tanque de resfriamento com capacidade de 1.000 litros, sendo as medidas menores que o tanque onde os dados foram monitorados, para exemplificar no tanque de 2.000 litros a cada cm aumenta em 18 litros o volume, sendo o dobro do tanque anterior, essa diferença de 3 mm representa 5 litros. A solução para o problema é a utilização de um sensor com maior precisão (Sensor de Distância VL53L0X de Alta Precisão), o que acarreta um aumento em média de R\$ 30,00, valor este que se considerado uma medição com alta precisão se justifica.

Outro problema enfrentado durante o monitoramento da quantidade de leite através do sensor ultrassônico, foi o de encontrar uma variação muito grande do valor coletado em pouco espaço de tempo. Ocorre que no momento que o agitador do tanque de resfriamento é acionado automaticamente pelo resfriador, o sensor não consegue efetuar a coleta corretamente. Para resolver o problema pode ser realizada uma análise do desvio padrão do conjunto de dados, utilizando um intervalo de dados de 5 minutos, tempo que o agitador permanece ligado, onde havendo uma variação o agitador pode estar ligado ou então a ordenha está sendo realizada.

A programação para a plataforma Arduino permite que seja efetuada a leitura de um arquivo, utilizando assim os parâmetros contidos em um arquivo de configuração a altura do tanque de resfriamento e a altura do sensor instalado, permitindo assim que não

tenha necessidade de alterar a programação do protótipo para tanques de resfriamento com capacidade de armazenamento diferentes.

### **6.3 Sensor de Consumo de Energia**

O sensor de corrente não invasivo 100A SCT-013 é usado em diversos projetos, utilizando a plataforma Arduino, para medição de consumo de energia elétrica. No seu trabalho NAMA, DESPA e MARDIANA (2016), utilizaram o sensor SCT-013 para identificar a qualidade do fornecimento de energia, bem como para identificar eventos de interrupções no fornecimento em um prédio de uma Universidade.

Com a correta instalação elétrica adotada na propriedade rural, este sensor servirá para o controle do consumo de energia elétrica do tanque, podendo ser analisado junto a temperatura ambiente, o tempo que o resfriador está levando para atingir a temperatura ideal aliada a quantidade de leite armazenada no tanque.

### **6.4 Sensor de pH**

O sensor de pH é projetado para trabalhar em conjunto com microcontroladores, formado por um eletrodo pH e um módulo para fazer a intermediação com a plataforma Arduino onde o eletrodo pode ficar submerso em algum líquido. Sua faixa de medição é entre 0 e 14, podendo operar em temperatura entre 0 °C a 60 °C, com tempo de resposta de 5 segundos (USINAINFO, 2020a; USINAINFO, 2020b).

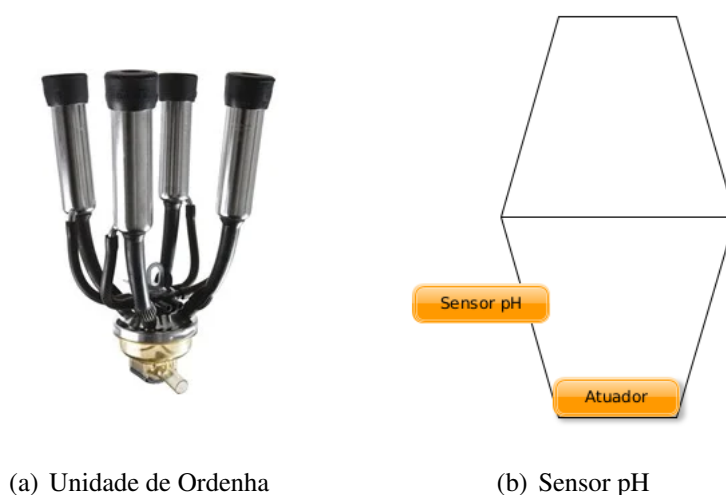
Duas propostas são apresentadas para a instalação do sensor de pH na sala de ordenha, uma com custo menor, porém com mais processo manual e outra com custo mais elevado, mas de maneira mais automatizada.

A primeira proposta consiste em realizar um teste no mesmo modelo do “teste da caneca”, este que deve ser realizado antes de cada ordenha para detectar a mamite clínica nos primeiros jatos de leite. A proposta consiste na utilização dos mesmos procedimentos mas em um recipiente onde o sensor de pH esteja instalado. Desta maneira será necessário apenas um sensor de pH na sala de ordenha, mas será necessário que o ordenhador realize o procedimento de forma manual.

A segunda proposta consiste em conectar o sensor de pH na unidade de ordenha (figura 27 a), em uma estrutura semelhante ao medidor de leite (figura 27 b). Estrutura

onde o sensor de pH esteja instalado e com capacidade suficiente para armazenar a quantidade de leite ordenhado em 5 segundos, tempo que o sensor leva para fazer a medição. Em média o tempo de ordenha de uma vaca leva de 5 a 7 minutos, com uma produção de 10 a 15 litros, ou seja, em 5 segundos a quantidade de leite ordenhado não seria maior que 250 ml, considerando o menor tempo e a maior quantidade de leite. Ao efetuar a leitura do pH, que segundo Venturini, Sarcinelli e Silva (2007) o pH do leite recém ordenhado varia entre 6,4 a 6,8, estando na faixa o leite seria liberado para a tubulação, caso contrário o ordenhador deverá efetuar a troca da mangueira para que o leite seja separado.

Figura 27 – Sensor pH na unidade de ordenha



Fonte: Adaptado de Delaval (2020)

A segunda proposta se torna mais onerosa para o produtor, pois é necessário um sensor de pH para cada unidade de ordenha, porém a vantagem é a menor intervenção do ordenhador, onde seria necessário apenas a intervenção nos casos em que fosse registrado um pH fora da faixa padrão.

## 6.5 Testes de Conexão

Foram efetuados alguns testes para verificar a viabilidade da transmissão dos dados via *Bluetooth* presente na camada *Fog* para um aparelho celular *Smartphone*. O arquivo gerado conforme figura 28, possui o tamanho de 124 Kb, equivalente aos dados monitorados de dois dias, ou seja, de 4 ordenhas, simulando a coleta dos dados do início

da ordenha na parte da tarde, até a chegada do caminhão tanque para a coleta do leite dois dias depois, pela parte da manhã.

Figura 28 – Arquivo utilizado para teste de conexão *Bluetooth*

```

21/10/2019,16:00:27,15.25,17.10,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:01:29,15.25,16.90,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:02:30,15.19,16.90,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:03:32,15.25,17.30,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:04:33,15.19,16.80,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:05:35,15.25,16.90,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:06:36,15.19,16.80,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:07:38,15.19,17.00,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:08:39,15.19,17.10,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:09:41,15.19,17.10,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:10:42,15.19,17.10,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:11:44,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:12:45,15.19,17.30,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:13:47,15.19,16.90,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:14:48,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:15:50,15.19,16.80,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:16:51,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:17:53,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:18:54,15.19,17.30,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:19:56,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:20:57,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:21:59,15.19,17.00,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:23:00,15.19,17.20,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:24:02,15.19,17.30,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:25:03,15.25,16.90,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:26:05,15.25,17.30,99.90,98,125,150,6.7
21/10/2019,16:27:06,15.19,17.30,99.90,98,125,150,6.7

```

Fonte: Autor (2020)

Cada linha do arquivo simulado contendo as seguintes informações: data, hora, temperatura do tanque de resfriamento, temperatura ambiente, umidade ambiente, distância, consumo de energia e o pH do leite. Simula a coleta de minuto em minuto, começando no dia 21/10/2019 às 16 horas e finalizando no dia 23/10/2019 às 9 horas, perfazendo um total de 2.395 linhas.

Foram realizados cinco testes, em distâncias diferentes, todas utilizando o mesmo arquivo apresentado na tabela 13, cabe ressaltar que estes testes foram realizados na própria propriedade rural em um cenário real.

Tabela 13 – Taxa de transferência dos dados

Distância	Velocidade Kbit/s
1 m	125
5 m	120
10 m	118
12 m	108
15 m	102

Fonte: Autor 2020

Em todas as distâncias testadas não houve uma grande diferença entre a velocidade de transferência dos dados, sendo que somente na distância de 15 m ocorreu um aumento no tempo, mas não sendo significativo para as demais. Levando-se em consideração que o motorista do caminhão tanque, para efetuar a coleta do leite, não ficará a uma distância superior a 10 metros onde se planeja que fique instalada a camada *Fog* é perfeitamente viável que a coleta dos dados seja realizada desta forma.

Outro teste realizado foi a transferência dos dados do *smartphone* para a nuvem. Foram realizados dois testes, utilizando uma rede WiFi e também a rede móvel 4G, descritos na tabela 14, salientando que estes testes não foram realizados na propriedade rural.

Tabela 14 – Tempo de transferência dos dados

Meio	Tempo
WiFi	31s
4G	20s

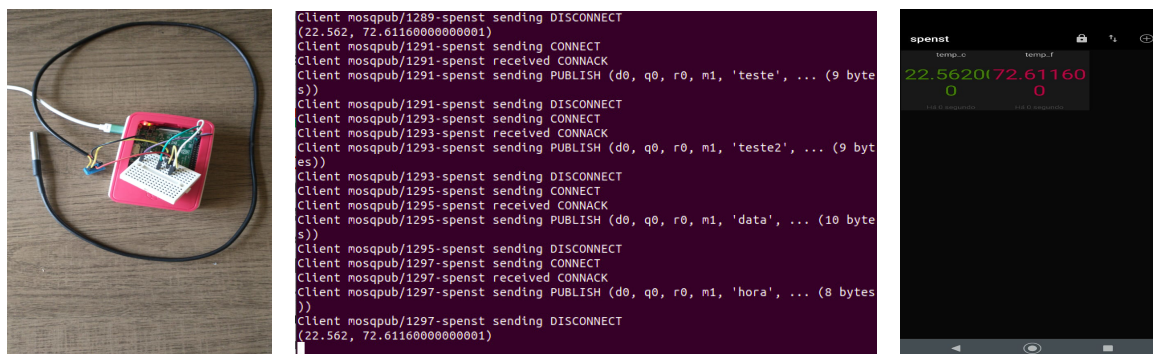
Fonte: Autor 2020

A transmissão pela rede 4G, neste teste, foi 9 segundos mais rápido do que pela rede WiFi, mas como a velocidade de transmissão dos dados depende do pacote e do tipo de rede usada podemos considerar que, dependendo da qualidade do sinal de rede 4G e se disponível uma rede WiFi na indústria, onde o leite será entregue, ambas as redes podem ser utilizadas para o propósito de enviar as informações coletadas dos produtores para a Nuvem, não podendo afirmar qual a mais indicada, pois depende da estrutura disponível no local.

## 6.6 Protocolo MQTT

A figura 29 mostra o sensor DS18B20 ligado ao Raspberry e enviando a informação (*publisher*) para o *broker* (figura 29 b). Já a figura 29 c, mostra um exemplo de interface, que pode estar a disposição do produtor, mostrando os dados coletados.

Figura 29 – MQTT



(a) Raspberry e Sensor

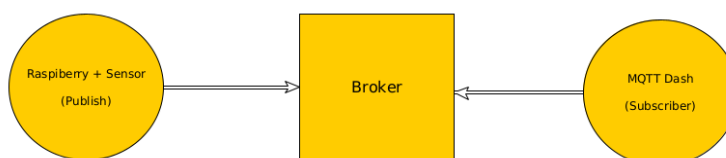
(b) Mosquitto Pub

(c) MQTT Dash

Fonte: Autor (2020)

A figura 30 mostra o modelo proposto utilizando o protocolo MQTT, onde o MQTT *Client* é formado pelos diversos sensores onde cada um publica um tópico diferente para o *broker*. Já o *broker* é responsável por receber as mensagens enviadas pelos clientes e enviar as mesmas para algum solicitante, como se fosse um mediador entre as máquinas, onde quem irá receber as mensagens solicitadas, neste caso, é o aplicativo MQTT Dash. Este solicita os tópicos enviados pelo cliente, disponibilizando as informações no aparelho celular do produtor, onde o mesmo pode acompanhar os diversos dados coletados.

Figura 30 – Esquema MQTT



Fonte: Autor (2020)

Para que o esquema MQTT possa ser implementado na propriedade rural, é necessário que exista uma conectividade disponível para a troca de informações. E

conforme explicado no capítulo anterior, os sensores podem ser ligados diretamente no *Raspberry* eliminando assim a placa *Arduino* sendo possível que cada um dos sensores envie o seu tópico, ou seja, o valor monitorado ao *broker* para que este possa ser enviado aos clientes.

## 7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa exploratória realizada serviu para adquirir maiores conhecimentos sobre as tecnologias que embasaram o modelo aqui proposto e utilizando um estudo de caso com o protótipo em um cenário realístico, onde pode ser observado o seu funcionamento ser realizada uma análise dos dados obtidos. O modelo proposto apresenta um instrumento de auxílio, tanto para o produtor como para a indústria, para que seja monitorado de maneira mais eficiente algumas variáveis na produção de leite, desde a coleta do leite no tanque de resfriamento localizado na propriedade rural até a chegada do caminhão na indústria, garantindo assim que o produto foi refrigerado de forma correta entre todas as ordenhas. Com o desenvolvimento e validação deste modelo, espera-se contribuir significativamente para a eficientização de diferentes etapas da cadeia, sobretudo dos processos de ordenha e de logística de coleta de leite cru, respeitando as normas nacionais e internacionais de qualidade que a cada ano se tornam mais rigorosas.

Conforme relatado foi encontrada diferença na temperatura do tanque de resfriamento em pontos diferentes, variando da quantidade de leite que se encontra armazenado, então o sensor de temperatura deve ser instalado em local apropriado e correto, no chamado poço de medição do tanque.

Diante do problema de garantir que o leite, produzido por diversos produtores, tenha os seus parâmetros de qualidade monitorados desde a ordenha, sendo resfriado de maneira correta e que o mesmo chegue até a indústria com a temperatura regulamentada pela IN 76/2018, surgiram duas questões relevantes de pesquisa, uma principal e uma secundária:

(i) É possível viabilizar o monitoramento da cadeia do leite, desde o processo de ordenha, passando pelo armazenamento em tanques de resfriamento e depois por um sistema de transporte coletivo, até a chegada a indústria, por meio de um sistema baseado na arquitetura *fog/edge*, associado a modelos de comunicação aplicáveis a cenários com baixa conectividade? Sim, o modelo proposto viabiliza o monitoramento de algumas variáveis importantes na produção do leite de forma a garantir que o produto que está sendo entregue atende a legislação vigente e ainda, a arquitetura *fog/edge*, permite ser implementada no ambiente rural fazendo a propagação dos dados coletados em cenários com baixa ou nenhuma conectividade. Utilizando o modelo de comunicação em áreas de baixa localidade, e redes tolerantes a atrasos, é perfeitamente viável que cada caminhão



tanque ao chegar na indústria, onde obrigatoriamente deve ser coletada a temperatura do leite no tanque, registrando através da infraestrutura disponibilizada pela indústria para o envio dos dados coletados, é viável a confirmação ou até mesmo que a indústria tenha subsídios de uma determinada rota, através dos dados coletados de cada produtor permitindo assim que ações sejam tomadas por parte da indústria para que seja sanado o problema da não chegada na temperatura correta.

(ii) É possível agregar elementos atuadores ao sistema proposto de modo a identificar precocemente anomalias no processo produtivo, evitando a contaminação do leite armazenado no tanque de resfriamento de um produtor e/ou no meio de transporte coletivo? É possível agregar elementos atuadores no sistema de ordenha com o intuito de que um leite com alguma anomalia qualquer chegue até o tanque de resfriamento, atuadores estes que podem ser instalados em local antes da chegada do leite no pré-tanque. Para que seja possível pode ser utilizado um sensor de pH do leite, este pode acionar um atuador para o que leite não seja enviado para o pré-tanque.

A tabela 15 mostra o custo total do protótipo, utilizando todos os sensores.

Tabela 15 – Placas e sensores

Descrição	Real
Raspberry Pi 3	R\$ 410,00
Placa Arduino Uno	R\$ 63,00
Sensor DS18B20	R\$ 16,00
Sensor DHT22	R\$ 45,00
Sensor SCT-013	R\$ 55,00
Sensor VL53L0X	R\$ 50,00
Sensor pH	R\$ 270,00
Display TM1637	R\$ 18,00
Data Logger	R\$ 30,00
Fonte de Alimentação	R\$ 40,00
Pilha CR1220	R\$ 3,50
Cartão de Memória de 8GB	R\$ 20,00
Total	R\$ 1.020,50

Fonte: Sites da Internet

Por fim, cabe ressaltar a importância do modelo proposto, carecendo de um estudo mais aprofundando sobre o mesmo, se sugere como trabalho futuro, uma pesquisa explicativa detalhando o processo experimental explicando as relações de causa e efeito observado na aplicação da solução.

## REFERÊNCIAS

- ADAMCZUK, J.; FAGUNDES, G.; SILVA, V. Influência da refrigeração e avaliação da qualidade microbiológica do leite cru durante o período de armazenamento na fazenda. **Cultivando o Saber**, v. 7, p. 385–391, 2014.
- ADELANTANDO, F. et al. Understanding the limits of lorawan. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, n. 9, p. 34–40, 2017.
- AHMED, N.; DE, D.; HUSSAIN, I. Internet of things (iot) for smart precision agriculture and farming in rural areas. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 5, n. 6, p. 4890–4899, 2018.
- ARDUINO. **Site Oficial**. 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acessado em: 01 dez. 2018.
- ARIF, M.; WANG, G.; BALAS, V. Secure vanets: Trusted communication scheme between vehicles and infrastructure based on fog computing. p. 235–246, 2018.
- BATALHA, M. **Gestão agroindustrial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- BONOMI, F. et al. Fog computing and its role in the internet of things. In: **Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (MCC '12), p. 13–16. ISBN 978-1-4503-1519-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2342509.2342513>>.
- BRASIL. **Instrução Normativa Nº 76, de 26 de Novembro de 2018**. [S.l.], 2018.
- BRASIL. **Instrução Normativa Nº 77, de 26 de Novembro de 2018**. [S.l.], 2018.
- CALDAS, L. et al. Amostragem, coleta e transporte do leite. **Juíz de Fora: Embrapa Gado de Leite**, p. 13, 2017.
- CEPEA. **Boletim do Leite**. Porto Alegre: CEPEA - ESALQ/USP, 2020. 64 p.
- CHIANG, M. et al. Clarifying fog computing and networking: 10 questions and answers. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, p. 18–20, 04 2017.
- CRUZ, J. de la; CRUZ, E. de la. **Automação Predial 4.0: a automação predial na Quarta Revolução**. Brasport, 2019. ISBN 9788574529158. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=k5KNDwAAQBAJ>>.
- DELAVAL. **O que você deve saber sobre um tanque de resfriamento de leite**. 2018. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/canais-empresariais/delaval/o-que-voce-deve-saber-sobre-um-tanque-de-resfriamento-de-leite-207284/>>. Acessado em: 14 mar. 2019.
- DELAVAL. **Porque resfriar o leite. Informações técnicas da DeLaval**. 2018. Disponível em: <<http://www.delaval.com.br>>. Acessado em: 01 set. 2018.
- DELAVAL. **Delaval**. 2020. Disponível em: <<https://www.delaval.com>>. Acessado em: 01 ago. 2020.

- DESTRO, M. **Qualidade do leite: o que é importante?** 2017. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/empresas/novidades-parceiros/qualidade-do-leite-o-que-e-importante-103681n.aspx>>. Acessado em: 14 mar. 2019.
- EMATER. **Relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul: 2017**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2017. 64 p.
- EMATER. **Relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul: 2019**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2019. 114 p.
- FERNANDES, A. **Comunicação Ad Hoc em Equipas de Robôs Móveis Utilizando a Tecnologia ZigBee**. University of Coimbra, 2012. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=KBNSAgAAQBAJ>>.
- FILIPEFLOP. **Site de Comércio Eletrônico**. 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com>>. Acessado em: 10 set. 2019.
- FRANK, R. et al. Bluetooth low energy: An alternative technology for vanet applications. In: IEEE. **2014 11th annual conference on wireless on-demand network systems and services (WONS)**. [S.l.], 2014. p. 104–107.
- FREACKS, E. **Ultrasonic Ranging Module HC - SR04**. 2020. Disponível em: <<https://storage.googleapis.com/baudaeletronicadatasheet/HC-SR04.pdf>>. Acessado em: 01 ago. 2020.
- GOMES, J. et al. Análise econômica em sistemas de produção de leite no agreste potiguar. In: . [S.l.: s.n.], 2018. v. 2, p. 65–69.
- GRGIĆ, K.; ŠPEH, I.; HEĐI, I. A web-based iot solution for monitoring data using mqtt protocol. In: IEEE. **2016 international conference on smart systems and technologies (SST)**. [S.l.], 2016. p. 249–253.
- IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios Contínua**. 2018. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101631\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101631_informativo.pdf)>. Acessado em: 28 mai. 2019.
- KANG, H. et al. Routing protocols for vehicular delay tolerant networks: A survey. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, 2015.
- KRAIJAK, S.; TUWANUT, P. A survey on internet of things architecture, protocols, possible applications, security, privacy, real-world implementation and future trends. In: **2015 IEEE 16th International Conference on Communication Technology (ICCT)**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 26–31.
- LI, F.; WANG, Y. Routing in vehicular ad hoc networks: A survey. **IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE**, 2007.
- LIGHT, R. A. Mosquitto: server and client implementation of the mqtt protocol. **Journal of Open Source Software**, v. 2, n. 13, p. 265, 2017.
- MACHADO, J.; NANTE, J. **Adoção da tecnologia da informação em organizações rurais: o caso da pecuária de corte**. São Carlos: [s.n.], 2011.

MARTÍNEZ, J. et al. Monitoring bulk milk quality by an integral traceability system of milk. **Journal Of Applied Animal Research.**, v. 46, p. 784–790, 2018.

MERRIAM-WEBMASTER. **Connectivity**. 2019. Disponível em: <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/connectivity>>. Acessado em: 20 set. 2019.

MONTICO, M. **Guia avançado de redes Wireless - Vol. 2**. Universo dos Livros Editora, 2010. ISBN 9788578731007. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=3cvBCQW0HjoC>>.

MORAES, A. D. **Redes sem fio: Instalação, Configuração e Segurança - Fundamentos**. Saraiva Educação S.A., 2010. ISBN 9788536529141. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=34uwDwAAQBAJ>>.

NAMA, G. F.; DESPA, D.; MARDIANA. Real-time monitoring system of electrical quantities on ict centre building university of lampung based on embedded single board computer bcm2835. In: **2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 394–399.

NEWCOMB, A. **Linux para Makers**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2018.

OLIVEIRA, R. et al. Temperatura do leite mensurada pelo termostato e termômetro em diferentes pontos do tanque de expansão. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial.**, v. 10, p. 1991–2003, 2016.

OLIVEIRA, T. R. et al. Certificados sociais para segurança em redes veiculares tolerantes a interrupções. In: **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores**. [S.l.: s.n.], 2013.

PAIVA, C. et al. Pecuária leiteira de precisão. **Embrapa**, p. 306–324, 2016.

PASTOR, F. et al. Precision agriculture design method using a distributed computing architecture on internet of things context. **Sensors**, v. 18, p. 1731, 2018.

PEREIRA, L. et al. **Pecuária leiteira de precisão: conceitos e tecnologias disponíveis**. São Paulo: Embrapa Gado de Leite, 2015. 114 p.

QUINCOZES, S.; EMILIO, T.; KAZIENKO, J. Mqtt protocol: Fundamentals, tools and future directions. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 17, n. 09, p. 1439–1448, 2019.

RASPBERRYPI. **Site Oficial**. 2020. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>>. Acessado em: 12 mar. 2020.

RIES, J. **Bovinocultura de Leite**. 2019. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/area-tecnica/sistema-de-producao-animal/bovinos-de-leite.php#.XDODtMtKg-Y>>. Acessado em: 02 jan. 2019.

ROCHA, D.; CARVALHO, G. **ANUÁRIO leite 2018: Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro**. São Paulo: Embrapa Gado de Leite, 2018. 114 p.

ROCHOL, J. **Sistemas de Comunicação sem Fio: Conceitos e Aplicações**. Bookman Editora, 2018. (Série Livros Didáticos Informática UFRGS). ISBN 9788582604564. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=QD1NDwAAQBAJ>>.

ROSS, J. **Redes de Computadores**. Julio Ross, 2008. ISBN 9788561226046. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=mFhCHLDzaPgC>>.

ROY, A.; ACHARYA, T.; DASBIT, S. Quality of service in delay tolerant networks: A survey. **Computer Networks**, v. 130, 11 2017.

SANTIAGO, S. **INs 76 e 77, precisamos de mais tempo ?** 2019. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/savio-santiago/ins-76-e-77-precisamos-de-mais-tempo-214021/>>. Acessado em: 15 mai. 2019.

SCHENFELD, M. **FOG E EDGE COMPUTING: Uma Arquitetura Híbrida em um Ambiente de Internet das Coisas**. 91 p. Dissertation (Dissertação de Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SULINOX. **Treinamento Tanques de Resfriamento**. [S.l.], 2018.

SUNE, R.; PORTELLA, J.; VERAS, M. Manejo correto da ordenha e qualidade do leite. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, v. 64, 2002. ISSN 0100-8625.

TANTITHARANUKUL, N. et al. Mqtt-topics management system for sharing of open data. In: IEEE. **2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)**. [S.l.], 2017. p. 62–65.

USINAINFO. **Documentação Internacional PH-4502C**. 2020. Disponível em: <[https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=553](https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=553)>. Acessado em: 05 ago. 2020.

USINAINFO. **Sensor de pH Arduino**. 2020. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-ph-arduino-modulo-de-leitura-5316.html>>. Acessado em: 05 ago. 2020.

VAQUERO, L. M.; RODERO-MERINO, L. Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 44, n. 5, p. 27?32, oct. 2014. ISSN 0146-4833. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2677046.2677052>>.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. Características do leite. **Boletim Técnico - PIE-UFES:01007**, 08 2007.

WANG, L. et al. Scientific cloud computing: Early definition and experience. In: IEEE. **2008 10th ieee international conference on high performance computing and communications**. [S.l.], 2008. p. 825–830.

ZAKERI, A. et al. An early detection system for proactive management of raw milk quality: An australian case study. **IEEE Access**, v. 6, p. 64333–64349, 2018.

ZANELA, M.; RIBEIRO, M. **LINA - Leite Instável Não Ácido**. Pelotas, RS: Embrapa, 2018.

ZHANG, M.; WOLFF, R. Routing protocols for vehicular ad hoc networks in rural areas. **Communications Magazine, IEEE**, v. 46, p. 126 – 131, 12 2008.

ZHOU, H. et al. Data offloading techniques through vehicular ad hoc networks: A survey. **IEEE Access**, v. 6, p. 65250–65259, 2018.