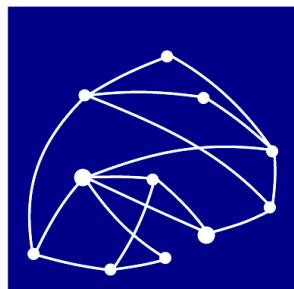


5G IoT

Atividade 1.1 - Levantamento de aplicações do IoT em áreas remotas/rurais

Inatel
Instituto Nacional de Telecomunicações



RNP

Histórico de Atualizações:

Versão	Data	Autor(es)	Notas
1	11/03/2019	Alexandre Carvalho Ferreira Juliano Silveira Ferreira Luciano Leonel Mendes Tiago Cardoso Barbosa	Elaboração de conteúdo
2	31/03/2019	Luciano Leonel Mendes	Revisão de texto

Lista de Siglas, Abreviações e Definições

PIB	Produto Interno Bruto
IoT	<i>Internet of Things</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
4G	Quarta Geração de Redes Móveis
5G	Quinta Geração de Redes Móveis
GPS	<i>Global Positioning System</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
PH	Potencial Hidrogeniônico
LoRa	<i>Long Range</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
UFABC	Universidade Federal do ABC
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>

Sumário

1	Introdução	1
2	Visão geral das aplicações de IoT para o agronegócio	3
3	Aplicações de IoT para agricultura	5
3.1	Sistemas de monitoramento meteorológico	5
3.2	Sensoriamento do solo	6
3.3	Sistemas de identificação e controle de pragas e doenças	7
3.4	Sistemas inteligentes de irrigação associados ao monitoramento das condições ambientais e do solo	8
3.5	Controle do cultivo em ambiente protegido como estufas climatizadas	10
3.6	Aplicação de robôs na agricultura	11
3.6.1	Drones e imagens aéreas	11
3.6.2	Drones e redes de sensores sem fio	13
3.6.3	Robôs para pulverização e remoção de ervas daninhas	14
3.6.4	Robôs para colheita de frutas	14
3.7	Gerenciamento de maquinários agrícolas	16
4	Aplicações de IoT para a pecuária	17
4.1	Sistemas de monitoramento e rastreamento de rebanhos	17
4.2	Sensoriamento da saúde e comportamento animal	17
4.3	Monitoramento de peso em rebanhos	19
5	Aplicações de IoT na distribuição de produtos agropecuários	21
5.1	Sistemas de monitoramento de logística	21
5.2	Sistemas para rastreabilidade de produtos	22
6	Aplicações de IoT para áreas remotas	23
6.1	Prevenção de desastres	23
6.2	Monitoramento de florestas	24
6.3	Segurança patrimonial	25
7	Conclusões	26

1 Introdução

O agronegócio tem um importante papel dentro da economia brasileira, sendo responsável por cerca de 21% do PIB nacional em 2018 de acordo com Cepea/CNA [1] e com projeções de crescimento em 2019 de acordo com CNA [2]. No cenário mundial, o Brasil se destaca como um dos maiores exportadores de alimentos, tendo como destaque o fornecimento soja, carnes, café, açúcar, algodão, dentre outros [3]. Apesar da importância destacada, o Brasil possui ainda um enorme potencial de crescimento graças à possibilidade de ampliação da área explorada, bem como pelo aumento de eficiência e produtividade.

Neste cenário, as tecnologias associadas à Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) se apresentam como uma importante alternativa para o aumento de eficiência e produtividade da agropecuária brasileira. O impacto estimado com emprego de IoT no ambiente rural brasileiro, com relação ao ganho econômico proporcionado, é da ordem de US\$ 5,5 a US\$ 21,1 bilhões para 2025, dependendo do grau de adoção de tecnologias, e de US\$ 61 a US\$ 362 bilhões, a nível mundial, para o mesmo ano [3].

Conforme definição do BNDES [4]: "...*Internet das Coisas é uma infraestrutura global para a sociedade da informação, que habilita serviços avançados por meio da interconexão entre coisas (físicas e virtuais), com base nas tecnologias de informação e comunicação (TIC). Em sentido amplo, trata-se não apenas de conectar coisas, mas também de dotá-las do poder de processar dados, tornando-as "inteligentes". Neste sentido, a Internet das Coisas vem ganhando momento não devido ao surgimento de tecnologias disruptivas, mas sim por conta da evolução de um conjunto de tecnologias já disponíveis, que estão se tornando mais acessíveis, possibilitando sua adoção em massa.*"

O emprego de soluções de IoT viabilizam a implementação de sistemas de gerenciamento e controle bastante sofisticados, que integram diversos subsistemas como [5]:

- Monitoramento e sensoriamento;
- Análise de dados e planejamento de atividades;
- Supervisão e controle inteligente de uma rede sem fio interconectada com um servidor local, remoto ou serviço em nuvem;
- Sistemas de inteligencia artificial e *Big Data Analytics* podem ser integrados para controlar ações de forma autônoma ou auxiliar em tomadas de decisão.

As aplicações de IoT podem ser utilizadas para monitorar e controlar atividades e processos, bem como para orientar as tomadas de decisões em diferentes níveis deste o manejo em campo, por exemplo, até decisões de logística e negócios.

O principal desafio com as aplicações de IoT é lidar com uma multidão de dispositivos conectados simultaneamente, um número que é esperado estar na casa das centenas de milhares por célula nos sistemas de quinta geração de redes móveis (5G), pelo menos uma ordem de grandeza acima da capacidade das redes de quarta geração de redes móveis (4G). Para viabilizar as aplicações vislumbradas para este cenário, é necessário que sejam desenvolvidos dispositivos de baixo custo cuja única carga da bateria deve permitir o funcionamento por um longo período de tempo, tipicamente entre 1 a 10 anos. Além disso, o padrão de tráfego de dados gerado pode variar de acordo com a aplicação, indo de alta vazão, para o caso de monitoramento de vídeo, para baixa vazão de dados, para o caso de leitura de sensores; baixa latência, para

o caso de controle de maquinários agrícolas e drones, e sem grandes restrições de latência, no caso de determinados acionamentos (ex. válvula de irrigação).

O presente relatório destaca algumas das aplicações de IoT associadas ao agronegócio e a áreas remotas, com objetivo de ilustrar o potencial de uso das tecnologias associadas ao IoT sobre as redes 5G.

2 Visão geral das aplicações de IoT para o agronegócio

O setor do agronegócio envolve atividades de importância vital para a sociedade, já que envolve o cultivo e produção de alimentos para o consumo humano. É importante destacar, entretanto, que a produção de alimentos é uma das atividades que mais ocupa recursos naturais como água, energia e terra, que impacta diretamente no desmatamento e perda de biodiversidade, além de contribuir consideravelmente na geração de gases do efeito estufa.

O emprego de automação, mecanização, técnicas modernas de reprodução, seleção genética e a melhoria do processo de estocagem e transporte, além de emprego de técnicas que consideram questões de sustentabilidade, permitiram ampliar consideravelmente a eficiência de produção de alimentos nas últimas décadas, além de permitir alcançar melhorias quanto a qualidade e sustentabilidade. O rendimento de colheitas a nível mundial, por exemplo, aumentou cerca de 77% entre 1961 e 2007, e a emissão de gases do efeito estufa foi reduzida em 23.8% entre 1990 e 2012 [6]. As melhorias alcançadas mostram que o emprego de tecnologias auxiliam e proporcionam impactos positivos na produção alimentícia. No entanto, a crescente demanda por alimentos e os desafios atuais a serem superados exigem um aumento ainda mais drástico com relação à eficiência e produtividade. Estima-se, por exemplo, um aumento da demanda de alimentos em 70% até 2050 [7]. Como desafios atuais a serem superados pela área do agronegócio, pode-se destacar:

- Atendimento do aumento gradativo da demanda por alimentos devido ao crescimento da população mundial e melhora da qualidade de vida dos países emergentes;
- Necessidade de redução do desperdício de alimentos para consumo humano que chega a um terço dos alimentos produzidos mundialmente [6];
- Limitação da capacidade de produção e regeneração do planeta [6];
- Atendimento a normas e requisitos de qualidade dos alimentos (*safe food*);
- Necessidade de redução da emissão de gases do efeito estufa;
- Mudanças climáticas [6][8];
- Diminuição dos lençóis freáticos [9][10] e poluição da água;
- Falta de mão de obra capacitada para permitir a adoção de novas tecnologias;

A seguir, estão apresentados alguns exemplos de benefícios que podem ser alcançados através do uso de aplicações de IoT na área do agronegócio:

- Melhoria de processos de monitoramento e gerenciamento da produção de alimentos em diversos âmbitos, como uso de recursos, acompanhamento de culturas, saúde e comportamento animal, além do processamento dos alimentos;
- Melhoria do monitoramento das condições climáticas e ambientais;
- Identificação e controle de pragas e doenças em cultivos;
- Identificação e controle de doenças em rebanhos;
- Monitoramento, controle e otimização da aplicação de fertilizantes e pesticidas, que acarreta, por sua vez, a redução de poluição;

- Aumento da eficiência da alimentação de rebanhos e consequente redução do consumo de insumos;
- Gerenciamento e rastreabilidade do uso de vacinas e medicações aplicadas aos animais, proporcionando melhoria do controle de condições sanitárias e atendimento à normas;
- Monitoramento e controle remoto das condições ambientes de armazenagem e transporte dos alimentos;
- Monitoramento da qualidade de alimentos;
- Melhoria da rastreabilidade dos alimentos, envolvendo a localização, e informações relacionadas às condições de armazenagem, transporte e venda;
- Conscientização dos consumidores quanto à sua saúde e nutrição, graças ao emprego de tecnologias domóticas e vestíveis (*wearables*), por exemplo.

3 Aplicações de IoT para agricultura

A agricultura de precisão refere-se ao detalhado e preciso monitoramento e controle do processo de produção agrícola, que faz uso integrado de informações e tecnologias para gerenciar variabilidades espaciais e temporais das áreas de cultivo. Variabilidades estas relacionadas principalmente ao solo, atmosfera e plantas, e que influenciam na produtividade e eficiência do uso de recursos.

As variabilidades espaciais e temporais consideradas, bem como as particularidades de cada área de cultivo, podem ser mapeadas e utilizadas para permitir identificar quais insumos, pesticidas ou fertilizantes, por exemplo, devem ser aplicados em cada área do cultivo, e em quais quantidades e instantes de tempo. Tratores e máquinas podem ser programados para aplicação destes insumos de acordo com coordenadas de geolocalização identificadas via GPS (*Global Positioning System*).

Outro exemplo de aplicação, no caso da pecuária, refere-se ao controle preciso da ração e nutrientes a serem fornecidos a cada vaca de acordo com seu estágio de lactação e produção de leite, a fim de aumentar a produção de cada animal e aumentar a eficiência do uso de insumos. Cada animal, neste caso, pode ser identificado individualmente através de recursos da tecnologia de RFID (*Radio-Frequency IDentification*).

Dentre os benefícios alcançados com a agricultura de precisão, pode-se destacar: uso eficiente de insumos como sementes, fertilizantes, água, combustíveis, otimização do trabalho e execução de tarefas de maneira ágil e melhoria das condições de trabalho.

A agricultura de precisão tem sido utilizada por um grupo reduzido de produtores e não é, em geral, utilizada de maneira eficiente. A integração de subsistemas e dificuldade de instalação e uso, além de custos, são exemplos de desafios enfrentados para a adoção e implantação destas soluções. Um outro conceito, que vai além da agricultura de precisão, é a agricultura inteligente ou *smart farming*, que se refere ao gerenciamento inteligente de informações para orientar tomada de decisões, realizar tarefas e controlar processos automatizados em atividades agrícolas. Tais informações envolvem o monitoramento em tempo real de eventos associadas a um sistema com inteligência que auxilie na tomada de decisões e reorganização dinâmicas de tarefas em situações, por exemplo, de mudanças climáticas ou detecção de pragas e doenças.

As tecnologias associadas ao IoT viabilizam a transição da agricultura de precisão para a agricultura inteligente, uma vez que as soluções da agricultura de precisão se encontram fragmentadas e não integradas. As tecnologias associadas ao IoT viabilizam a integração de diferentes tipos de sensores e atuadores em uma única rede, permitindo agregar também sistemas de sensoriamento e monitoramento, e sistemas inteligentes de análises, planejamento e controles de processos importantes da agricultura e pecuária.

A seguir, estão apresentados alguns exemplos de aplicações de IoT que podem potencializar a produtividade e eficiência da agropecuária.

3.1 Sistemas de monitoramento meteorológico

As atividades da agricultura sofrem grande influencia das condições ambientais e climáticas. Diversas atividades podem ser otimizadas com base em informações meteorológicas. Porém, as informações disponíveis se referem, normalmente, a macro regiões, podendo ser imprecisas para a área de interesse, e possuem uma baixa taxa de atualização (ex. diária).

O emprego de tecnologias associadas ao IoT permitem, por exemplo, que sensores climáticos e meteorológicos possam ser instalados em diferentes pontos da área de cultivo, a fim de

monitorar em tempo real parâmetros como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, pressão do ar, detecção de chuvas, identificação de volume de precipitação de chuva, dentre outros. As informações climáticas locais podem ser complementadas com dados das previsões da região, a fim de se identificar ações preventivas. Sistemas inteligentes podem ser utilizados para orientar as tomadas de decisão e planejamento de atividades a serem realizadas na fazenda. Além disso, pode-se empregar a análise de parâmetros climáticos coletados em conjunto com o conhecimento de produtores e pesquisadores para sinalizar possíveis pragas ou doenças que possam proliferar, de acordo com a espécie de cultivo, condições climáticas, estação do ano e região. Ações preventivas podem também ser sugeridas aos produtores, visando minimizar os impactos negativos e aumentar a eficiência da produção.

O monitoramento das condições climáticas podem ser utilizadas para orientar e planejar a realização de atividades como:

- Irrigação: a atividade pode ser otimizada em função das condições de temperatura, chuvas ocorridas recentemente e os respectivos volumes de precipitação. Desta forma, pode-se alcançar um aumento da eficiência da irrigação, consequente melhora de produtividade e redução do consumo de água e energia elétrica;
- Aplicação de pesticidas: definição dos melhores momentos para a aplicação de pesticidas, permitindo evitar os insumos sejam levados pela água da chuva ou pelo vento. Desta forma, aumenta-se a eficiência de uso dos insumos, propiciando aumento de produtividade e redução de custos.
- Atividades de maneira geral: atividades de semeadura, plantio, colheita e transporte, podem ser planejadas de forma a evitar condições climáticas desfavoráveis, o que proporciona redução de tempo para a realização de tarefas, redução de perda de produtos, redução de custos e melhoria de condições de trabalho.

A Figura 1 mostra um exemplo de uma estação meteorológica que pode ser integrada a uma base de dados inteligente de previsão de risco de doenças nas plantas de acordo com as condições ambientais e tipo de cultivo. Esta estação meteorológica é alimentada por bateria associada a painel solar e utiliza rede celular para a comunicação com o servidor remoto.

3.2 Sensoriamento do solo

O sensoriamento de informações como umidade, temperatura, condutividade e PH do solo podem ser empregadas em um grande leque de aplicações IoT na área da agricultura, visando ampliar a produtividade e eficiência. O monitoramento da umidade do solo em diferentes áreas do cultivo pode ser empregada, por exemplo, para otimizar processos de irrigação, já que permite identificar a quantidade de água necessária em cada área. O monitoramento da temperatura do solo, que é influenciada pela radiação recebida, pode ser utilizada para orientar diversas etapas do manejo de culturas em campo, já que a mesma interfere em processos físicos, químicos e biológicos do solo que, por sua vez, influenciam no processo de crescimento das plantas [12]. Alterações de acidez do solo, por outro lado, influenciam na disponibilidade de nutrientes do solo, impactando no desenvolvimento das culturas. As medidas de condutividade elétrica permitem identificar tipo de textura e a capacidade do solo em armazenar água.

Novas tecnologias de sensoriamento podem ser utilizadas nas aplicações IoT para o monitoramento das condições do solo visando orientar a correta dosagem de nutrientes e fertilizantes a serem ministrados em um cultivo. É possível, por exemplo, a realização de análises em

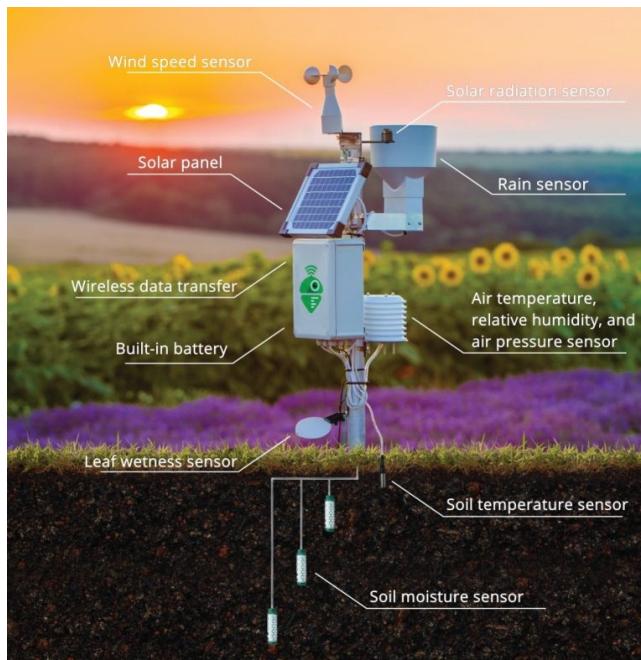


Figura 1: Estação de monitoramento climático da empresa Meteobot que pode ser integrada a base de dados para previsão de doenças [11].

campo e em tempo real de macronutrientes como o Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) que influenciam diretamente no desenvolvimento das plantas. A análise destes macronutrientes é normalmente realizada em laboratórios, utilizando-se amostras do solo. A rapidez de análise realizada em campo, bem como a possibilidade de acompanhamento da concentração destes macronutrientes ao longo de todo cultivo, permitem desenvolver aplicações inteligentes de suporte a tomada de decisões visando otimizar o uso de insumos, aumentar a produtividade e qualidade dos produtos.

A Figura 2 mostra um exemplo de um equipamento de sensoriamento de vários parâmetros do solo, como umidade, temperatura, PH, condutividade, e, dentre outros parâmetros, a disponibilidade de macronutrientes NPK. Neste caso, os sensores de solo se comunicam via rede sem fio com um concentrador, fazendo uso do padrão LoraWAN. O concentrador, por sua vez, se comunica com o servidor em nuvem via rede celular ou via conexão de rede via satélite.

3.3 Sistemas de identificação e controle de pragas e doenças

A identificação e controle de pragas e doenças é de suma importância para a produtividade na agricultura. As tecnologias associadas ao IoT podem ser empregadas para o desenvolvimento de soluções que permitam a identificação de insetos e pragas, bem como a distribuição destas ao longo da área do cultivo, permitindo o gerenciamento da aplicação de pesticidas e inseticidas de maneira otimizada e eficiente em cada área. A identificação precoce de infestações pode orientar ações preditivas que minimizem as chances de proliferação, bem como as consequências negativas no cultivo. Diversas tecnologias podem ser empregadas na identificação de pragas e doenças, dentre as quais pode-se destacar a captura de imagens associada ao seu processamento com inteligência artificial.

Através do processamento de imagens da plantação, capturadas através de câmeras instaladas ao longo da área de cultivo, em drones ou mesmo em armadilhas de capturas de insetos,



Figura 2: Sensoriamento do solo: umidade, temperatura, PH, macronutrientes NPK, dentre outros, desenvolvido pela empresa Teralytic [13].

pode-se identificar indícios de doenças, bem como presença e quantidade dos agentes indesejados. O processamento das imagens pode contar com uma base de dados que integre um conjunto de conhecimentos técnicos associadas a inteligência artificial, para a identificação de perigos potenciais, bem como para orientar cuidados a serem tomados, tipos de insumos a serem utilizados, bem como quantidades recomendadas de acordo com cada área analisada.

Alguns dos principais benefícios a serem alcançados, portanto, com aplicações de identificação e controle de pragas e doenças na agricultura que pode-se destacar são:

- Redução do impacto de doenças e pragas nos cultivos;
- Redução da perda de produtos;
- Aumento da qualidade dos produtos;
- redução do consumo de pesticidas e inseticidas, com consequente redução do índice de poluição e custo de produção;
- Aumento da produtividade.

A Figura 3 mostra um exemplo de uma solução nesta área, que considera o emprego de armadilhas de insetos espalhadas ao longo da área de cultivo. As armadilhas integram uma câmera e um sistema de comunicação para a transferência de algumas fotos por dia para um servidor, fazendo uso de conexão via rede celular. A partir do servidor é viabilizado o monitoramento remoto da rede de armadilhas, como a quantidade e tipos de insetos capturados ao longo do tempo. A aplicação inteligente integra modelos fenológicos de diversas pragas, o que permite ao sistema orientar tomadas de decisão.

3.4 Sistemas inteligentes de irrigação associados ao monitoramento das condições ambientais e do solo

O gerenciamento da distribuição e consumo da água tem grande importância na produção agrícola e pecuária, visto que se trata de um elemento essencial à sobrevivência de plantas e



Figura 3: Armadilha de captura de insetos (à esquerda), associada a sistema de identificação, contagem de insetos (à direita) da empresa DTN [14].

animais com potencial de impactar positivamente no equilíbrio ambiental. Cerca de 70% da água doce consumida no mundo é utilizada na agricultura de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura ou *FAO - Food and Agriculture Organization* [15]. O desenvolvimento de soluções que permitam aumentar a eficiência do uso da água na agricultura causa, portanto, grandes impactos sociais e ambientais.

A agricultura irrigada é o setor da agricultura que mais consome e desperdiça água [16]. O emprego de um conjunto de sensores, atuadores e concentradores/*gateways*, pode ser utilizado para viabilizar o aumento da eficácia do processo de irrigação. Uma rede de sensores, por exemplo, pode ser instalada em diferentes pontos das lavouras para permitir o monitoramento da umidade e temperatura do solo, o que permite identificar a real necessidade de irrigação de cada área, já que esta muda de acordo com a incidência do sol no local e do tipo de formação do solo. Cada um destes sensores pode ser alimentado por bateria associada a um painel solar. O sensoriamento das condições ambientais, aliada a informações de previsões meteorológicas da região, potencializam a eficácia da irrigação e propiciam a redução do consumo e do desperdício da água. As tomadas de decisões sobre quando e quanto irrigar cada área podem ser realizadas de forma inteligente e automatizada a partir de um sistema de gerenciamento e controle. As tomadas de decisões podem ser ainda associadas à informações de imagens tomadas de cada área da lavoura, coletadas por intermédio de drones controlados pelo sistema de gerenciamento, por exemplo, a fim de permitir identificar a evolução da lavoura em diferentes áreas. Todas as informações de monitoramento e gerenciamento podem ser disponibilizadas em uma plataforma em nuvem, para permitir o acesso e acompanhamento remoto. O emprego de uma base massiva de dados, associada a modelos tradicionais de agronomia e modelos analíticos, baseados em inteligência artificial, podem ser utilizados para melhorar a eficiência de todo o processo.

Alguns dos principais benefícios a serem alcançados, portanto, com aplicações de controle de irrigação na agricultura que pode-se destacar são:

- Redução do consumo e desperdício de água;
- Aumento da eficiência do processo de irrigação;
- Redução do consumo de energia elétrica;
- Aumento da produtividade;

A Figura 4 mostra um exemplo de uma plataforma de irrigação inteligente que considera a integração de diversos tipos de sensores, como de solo e estações meteorológicas, associada ao uso

de drones para acompanhamento da evolução do cultivo, e sistemas inteligentes de supervisão que incluem modelos de agriculturas e inteligência artificial. Esta plataforma, denominada de SWAMP (*Smart Water Management Platform* [17]), fora desenvolvida pela Embrapa, UFABC, além de outros outros parceiros do Brasil e Europa.

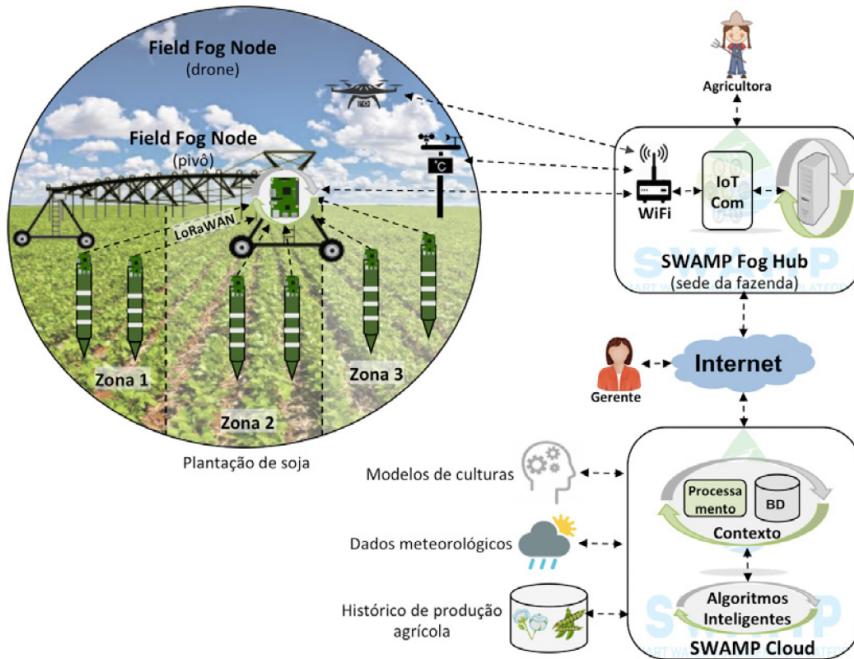


Figura 4: Plataforma de inteligente de irrigação denominada de Swamp [17].

A seguir estão apresentados alguns exemplos de tecnologias empregadas por algumas iniciativas de sistemas de irrigação inteligente:

- Redes com arquitetura mesh, Sigfox [18] e LoRaWAN [17] para a rede de atuadores e sensores;
- Intercomunicação entre concentradores/*gateways* e servidores locais via Wi-Fi [17];
- Intercomunicação com drones via Wi-Fi [17].

3.5 Controle do cultivo em ambiente protegido como estufas climatizadas

O cultivo em ambiente protegido é empregado em diferentes culturas agrícolas como legumes, verduras e frutas, dentre outras, pois proporcionam proteção de adversidades climáticas como geadas, granizo, temporais e ventos. Além disso, tal ambiente permite o controle de temperatura, umidade do ar e radiação solar. A utilização de casas de vegetação e estufas climatizadas, aumentam a produtividade e qualidade dos cultivos, uma vez que permitem aumentar a eficiência na detecção e controle de pragas e doenças, reduzem a perda de nutrientes por lixiviação e permitem manter uma produção constante ao longo do ano. Através do controle das condições do ambiente, aumenta também a eficiência do processo de irrigação, permitindo reduzir o ciclo de culturas e o consumo de recursos como fertilizantes e defensivos. A eficiência

e produtividade do cultivo no ambiente protegido pode variar em função de diversos fatores, incluindo o manejo da cultura e controle adequado do ambiente [19].

As tecnologias associadas ao IoT podem ser empregadas para ampliar a eficiência e produtividade do ambiente protegido, uma vez que permitem um monitoramento e controle mais preciso e integrado dos parâmetros e variáveis associadas às condições ambientais, solo, plantas e insumos, além de reduzir o custo de produção graças à redução de mão de obra necessária para a realização de tarefas. Uma rede de sensores sem fio pode ser utilizada para monitoramento em tempo real das condições climáticas em diferentes pontos da estufa, bem como controlar de forma automatizada atuadores que ajustam tais condições, como aquecedores, ventiladores, umidificadores. Além disso, o sistema pode realizar o monitoramento das condições do solo e, associadas às condições climáticas, pode gerenciar de maneira mais eficiente o processo de irrigação, reduzindo o consumo de água. O sensoriamento das condições de solo associada ao crescimento das plantas, coletadas a partir de sensores e imagens, por exemplo, podem ser utilizadas no controle da fertilização, visando aumentar a produtividade e reduzir o uso de insumos. Para o caso do cultivo hidropônico, o sistema pode também ser utilizado para análise da água e controle dos nutrientes administrados. Sistemas de controle associados à inteligência artificial podem ser utilizados com objetivo de compor um sistema de controle inteligente que ajuste dinamicamente os parâmetros de controle da estufa de acordo com o tipo de cultivo, sua fase de evolução, clima da região, condições climáticas e estação do ano.

3.6 Aplicação de robôs na agricultura

Devido ao aumento da escassez de mão de obra no campo e a necessidade de alimentar a crescente população global, a utilização de robôs na agricultura vem se tornando uma realidade.

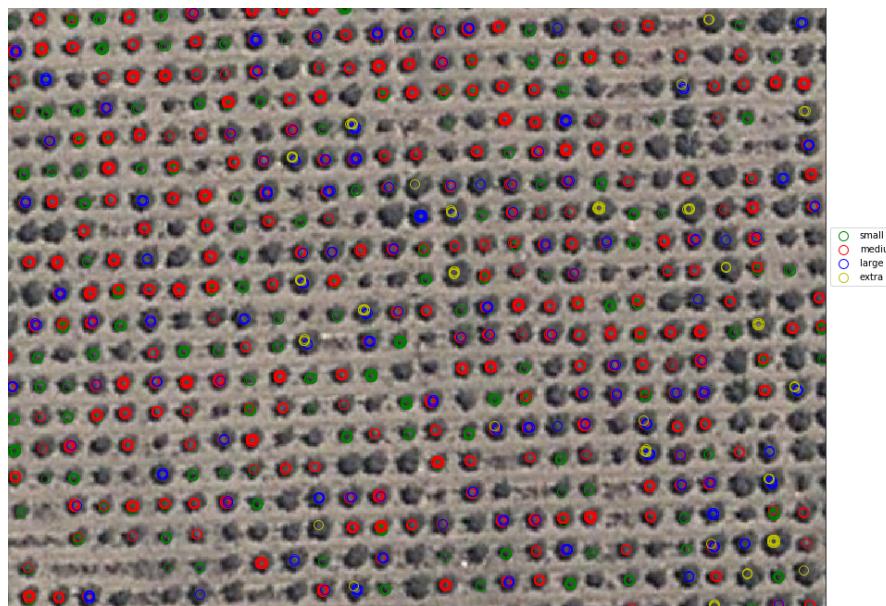
O êxodo rural aconteceu no Brasil de maneira mais intensa nas décadas de 1960 e 1980, mas perdeu força no início dos anos 2000 [20]. Entretanto, de acordo com o último senso divulgado pelo IBGE (2010), a taxa de migração campo-cidade ainda é de 0,65%, em relação ao total da população brasileira [21]. Somente nos Estados Unidos, estima-se que a cada ano a produção de alimentos tenha uma perda de 3,2 bilhões de dólares devido à diminuição da mão de obra no campo [22]. Por outro lado, há a previsão de que a população mundial irá crescer mais de um terço, ou 2,3 bilhões de pessoas, até 2050 [23]. A mecanização e a utilização de robôs na agricultura é uma alternativa para suprir a falta de mão de obra e ainda aumentar os índices de produtividade. Além disso, grande parte dos custos na agricultura são com salários e outras despesas relacionadas à mão de obra. Nos Estados Unidos 40% dos custos de produção são relacionados à mão de obra [24].

Dentre as tecnologias utilizadas pelos robôs na agricultura, o processamento de imagem e técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial permitem que os robôs consigam perceber o ambiente ao seu redor e se adaptar a ele. A revolução da robótica na agricultura ainda está em um estágio inicial, com os primeiros casos de teste e várias tecnologias em desenvolvimento. A seguir são listadas alguns dos principais casos de uso de robôs na agricultura.

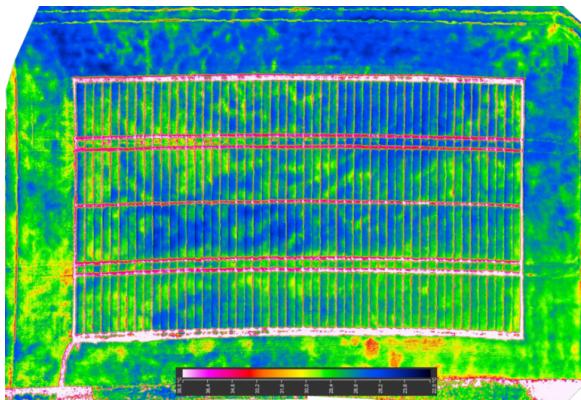
3.6.1 Drones e imagens aéreas

A utilização de drones foi um dos primeiros exemplos de aplicação de robôs na agricultura. O motivo para isso é que um drone pode economizar tempo e mão de obra para fazer uma inspeção visual em uma lavoura sem que seja necessário o deslocamento de uma pessoa até a mesma.

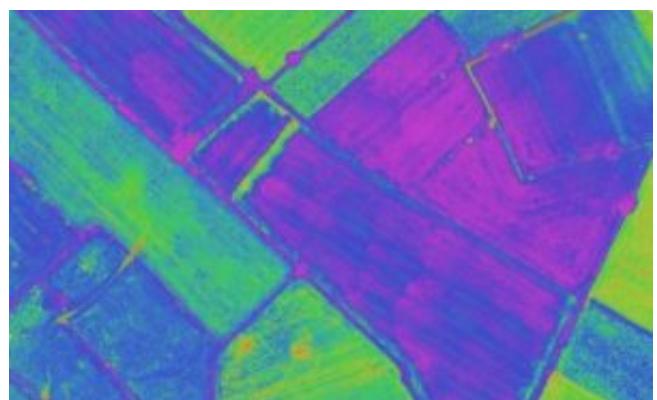
Os drones são comumente equipados com câmeras fotográficas e câmeras multi espetrais. Através da utilização de processamento digital de imagens, é possível acompanhar o desenvolvimento da lavoura através de contagem e classificação das plantas (Figura 5a), medir o estresse quanto à quantidade de água (Figura 5b), o que permite uma irrigação mais eficiente, e até identificar pragas, doenças e ervas daninhas através de análise multi espectral de imagens (Figura 5c).



(a) Imagem de drone para classificação e contagem dos pés em uma plantação [25].



(b) Imagem de drone para identificação de estresse devido à água na plantação [26].



(c) Imagem de drone feita com câmera multi espectral para identificação de pragas e doenças na plantação [27].

Figura 5: Imagens feitas por drones de plantações.

Além do monitoramento da lavoura, drones mais avançados também podem atuar nas mesmas através do transporte e aplicação de herbicidas, pesticidas e fertilizantes. As atividades dos drones podem ser programadas para acontecer de forma agendada ou automaticamente em resposta a algum evento na plantação.

A navegação dos drones é, tipicamente, realizada de forma autônoma pelo mesmo, através da utilização de GPS. O usuário programa previamente as áreas a serem analisadas pelo drone e monitora sua operação através de controle remoto utilizando, na maioria das vezes, a tecnologia

Wi-Fi. As informações capturadas são gravadas pelos drones e analisadas posteriormente por softwares especializados.

O sistema de drones, por operar de forma autônoma, permite sua utilização em regiões onde não haja sinal de internet ou algum outro tipo de rede de comunicação de dados. Nesta condição, entretanto, o sistema fica limitado à operação em modo *off-line*, pois as informações capturadas devem ser processadas após o término da utilização do drone. Em um cenário onde haja uma rede de dados disponível na lavoura, o monitoramento realizado pelos drones pode ser realizado em tempo real, permitindo uma tomada de decisões mais rápida e em conjunto com outras atividades na lavoura.

3.6.2 Drones e redes de sensores sem fio

A eficiência na economia rural é um dos maiores desafios enfrentados no mundo. A internet das coisas tem permitido à produtores aumentar suas produções, reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência do trabalhador rural. Entretanto, esta tecnologia não está acessível a todos. Em países emergentes não há disponibilidade de redes móveis celulares e de redes Wi-Fi em muitas das áreas de produção agrícola, o que é um limitador no uso da internet das coisas. Um projeto na China [28] utiliza um sistema de redes de sensores sem fio (WSN - *Wireless Sensor Network*) juntamente com um drone para contornar o problema em áreas rurais.

A WSN do projeto possui vários sensores espalhados nas lavouras e utiliza a tecnologia ZigBee. Cada nó ZigBee cobre uma área com raio de 200 à 500 metros e o conjunto de todos os nós da rede pode cobrir de 1.000 até 2.000 acres (1 acre = 0,404685642 hectares) de área das fazendas. Os sensores presentes nas lavouras fazem aquisição de medidas relacionadas ao solo e ao microambiente onde a lavoura está instalada. Medidas do solo como temperatura, umidade, fertilizantes, intensidade de luz solar, CO₂ e o valor do PH, bem como intensidade de chuva e intensidade do vento, são colhidas pelos sensores. Dentre os benefícios citados pelo projeto estão:

- Economia de até 67% no uso de água para irrigação;
- Redução de mão de obra na lavoura;
- Redução de 40% no volume de fertilizantes utilizados e também na contaminação do solo;
- Aumento na taxa de germinação, redução do período de crescimento e aumento na produtividade;
- Aumento na eficiência e diminuição no tempo do trabalho, de modo que os fazendeiros não precisem gastar tanto tempo na lavoura, dedicando-se mais à atividades de gerenciamento.

Em uma aplicação convencional, o acesso à WSN seria feito através de um *gateway* conectado à rede Wi-Fi ou à uma rede celular móvel utilizando GPRS, 3G ou 4G. Entretanto, devido à ausência destas redes móveis nas áreas de lavoura, um drone é utilizado para realizar o papel do *gateway*, sendo considerado um nó móvel na rede. O drone é equipado com um módulo ZigBee e quando ele sobrevoa a lavoura que contém a WSN, os dados dos sensores colhidos pela WSN são passados ao drone e armazenados. Posteriormente, os dados do drone são descarregados em um servidor para análise. Além disso, a elevada posição do drone permite uma observação da lavoura que é útil para a detecção de alterações na mesma, devido à pragas, doenças, alterações na umidade do solo, etc.

3.6.3 Robôs para pulverização e remoção de ervas daninhas

A utilização de herbicidas, pesticidas e agrotóxicos na lavoura é necessária para que sejam alcançados altos níveis de rendimento no plantio e para a produção de produtos de qualidade para comercialização. Porém, a utilização maciça destes produtos químicos na atividade agrícola, além de aumentar os custos para a produção de alimentos, pode apresentar consequências como a contaminação dos alimentos, de rios e de lençóis freáticos.

Uma nova geração de robôs, utilizando banco de dados com imagens de ervas daninhas, são treinados para detectar e arrancar ervas daninhas ou aplicar herbicidas diretamente na praga e não na planta. Com operação 100% autônoma, os robôs realizam o trabalho com alta precisão e com uma enorme economia no volume de herbicidas aplicados. Com um crescente número de ervas daninhas tornando-se resistentes à herbicidas e levando em consideração o custo e trabalho com a aplicação dos mesmos, essa tecnologia pode ser um grande avanço para produtores e para a redução de impactos ao meio ambiente.

Na Figura 6 é mostrado o veículo autônomo da empresa Ecorobotix. Ele é alimentado por energia solar, guiado de forma autônoma por GPS mais uma série de sensores, e é capaz de identificar ervas daninhas através de câmeras, aplicando herbicida somente nas ervas detectadas.



Figura 6: Robô autônomo da empresa Ecorobotix responsável pela detecção e aplicação de herbicidas em ervas daninhas [29].

A comunicação com os robôs em curta distância é feita através da tecnologia Wi-Fi e para longas distâncias é utilizada a rede móvel celular. Desta forma, o controle e configuração pode ser feito através de celulares ou tablets.

3.6.4 Robôs para colheita de frutas

Em contraste com outras culturas, a colheita de frutas exige cuidados quanto ao momento correto para ser realizado. Uma fruta colhida antes da hora não possuirá seu sabor totalmente desenvolvido e, se colhida depois do momento correto trará problemas tanto na qualidade

do sabor quanto no armazenamento durante sua distribuição. Tradicionalmente, o serviço de colheita é realizado manualmente por trabalhadores que são treinados para colher somente as frutas que estão no ponto correto e, assim, manter a qualidade do produto. Entretanto, como os custos para esse trabalho estão crescendo devido à escassez de mão de obra, robôs estão sendo desenvolvidos para substituir os humanos.

Há uma década atrás era difícil de se imaginar robôs realizando o trabalho de colheita de frutas delicadas tão bem quanto um humano. Entretanto, devido à enorme evolução dos campos de aprendizado de máquina, do processamento digital de imagens e da robótica, esses robôs são, hoje, uma realidade. Além de realizarem o controle de qualidade e a classificação das frutas na mesma operação, a análise dos dados do processo de colheita podem ser utilizados para um cálculo de receita comercial mais preciso e podem ajudar nas operações de embalagem e processamento das frutas. Na Figura 7 é mostrado um exemplo de aplicação para a classificação de tomates em tempo real utilizado por um robô da empresa Root AI.

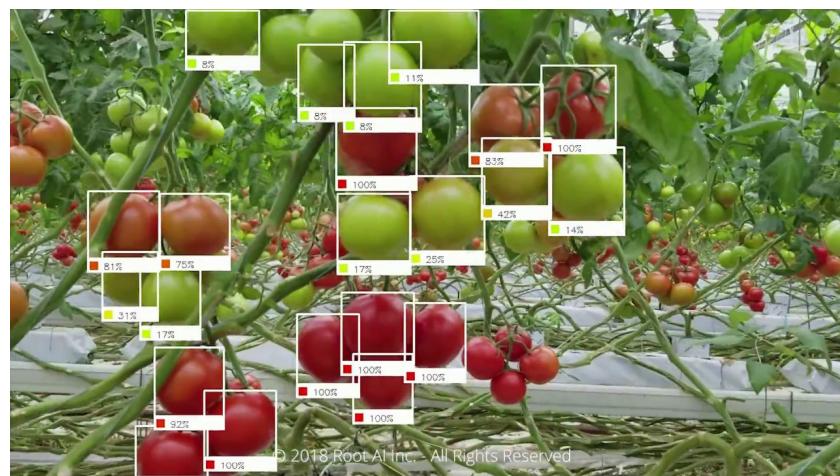


Figura 7: Classificação de tomates em tempo real utilizada por robô da empresa Root AI [30].

Na Figura 8 são mostrados exemplos de robôs utilizados comercialmente para a colheita de frutas. Estes robôs trabalham de forma autônoma e podem ser configurados remotamente através de celular ou tablet utilizando uma rede Wi-Fi ou rede móvel celular.



(a) Robô da empresa Agrobot utilizado para colheita de morangos [31].



(b) Robô da empresa FF Robotics utilizado para a colheita de maçãs [32].

Figura 8: Robôs utilizados para a colheita de frutas.

3.7 Gerenciamento de maquinários agrícolas

A realização de atividades agrícolas são suportadas por uma grande diversidade de maquinários que nem sempre são utilizados de forma eficiente. Alguns dos aspectos de eficiência a serem observados, neste caso, são: gasto de combustível ou insumos, quebras inesperadas do equipamento durante a execução de uma tarefa e a coordenação das atividades que envolvam os maquinários. As tecnologias associadas à IoT podem ser empregadas em diversas aplicações que permitam melhorar o gerenciamento e uso eficiente de maquinários agrícolas que, por sua vez, impactam significativamente na produtividade e redução de custos. Através de aplicações do IoT, pode-se monitorar um grande número de máquinas e realizar uma análise inteligente dos parâmetros de cada uma, em tempo real, e gerar informações de suporte a tomadas de decisões e até mesmo de realizar o controle automático e dinâmico de atividades e máquinas, levando em consideração fatores adicionais, como por exemplo, condições climáticas, tipo do cultivo, relevo, etc. Diversos tipos de sensores eletrônicos e mecânicos podem ser empregados no monitoramento de maquinários, como por exemplo, localização e trajetória, via GPS, consumo de combustível, velocidade de deslocamento, inclinação, vibração, horas trabalhadas, parâmetros relacionados a sua atividade específica, como quantidade de sementes plantadas e nível de profundidade de plantio, quantidade de defensivos e fertilizantes aplicados, volume de colheita, dentre outras.

As informações de sensoriamento de cada maquinário podem ser monitoradas remotamente e em tempo real, graças ao emprego de concentradores e servidores. As informações dos sensores instalados nos maquinários podem ser coletadas e transmitidas diretamente para um servidor, fazendo uso de rede celular, ou para concentradores instalados em pontos estratégicos do campo, fazendo uso de redes dedicadas, e estes, por sua vez, transferem os dados para o servidor via conexão de rede cabeada ou via rede celular. Tais informações podem ser processadas por sistemas de supervisão e controle inteligentes que auxiliem na realização de ajustes necessários para aumentar a eficiência de uso de cada equipamento, aumentar sua produtividade, reduzir nível de desgastes de peças, evitar quebra e até mesmo acidentes. As informações monitoradas podem ainda ser utilizadas para o planejamento e gerenciamento de atividades de forma a aumentar a produtividade, evitando o desperdício de tempo devido à espera da chegada de insumos ou de outros maquinários, monitorar, corrigir e otimizar rotas de execução do trabalho, identificar quedas de produtividade e suas possíveis causas, bem como orientar a realização de manutenção corretivas, com agilidade, e também manutenções preventivas, evitando a quebra e parada da máquina durante a execução de sua tarefa.

4 Aplicações de IoT para a pecuária

A seguir são apresentados alguns exemplos de aplicações de IoT que podem potencializar a produtividade e eficiência na pecuária.

4.1 Sistemas de monitoramento e rastreamento de rebanhos

O rebanho monitorado utiliza sensores e dispositivos de rastreamento instalados no colar, orelha, pata, rabo, ou através de um microchip ingerido pelo animal. O sistema permite a possibilidade dos criadores monitorarem os níveis de atividade, saúde e outros comportamentos chave do rebanho como a atividade de reprodução para que sejam melhorados os índices de produção e o bem estar do rebanho.

Alguns dos benefícios no monitoramento do rebanho são listados abaixo:

- Facilidade na identificação dos animais;
- Detecção de cio para aumento das taxas de concepção, incluindo identificação de cio silencioso e do melhor momento para inseminação;
- Monitoramento da saúde do animal, permitindo separar e tratar os doentes;
- Detecção de trabalho de parto para que os novos bezerros possam ser adicionados ao sistema de monitoramento e para que os partos sejam monitorados;
- Rastreamento por GPS para monitoramento do rebanho;
- Detecção precoce da mastite para reduzir o risco de diminuição na produção de leite;
- Integração com o banco de dados da fazenda para acompanhamento de medicações e tratamentos;
- Monitoramento da ruminação para verificar por quanto tempo o animal está comendo, tornando possível o acompanhamento a saúde do animal e a melhoria do gerenciamento de ração do rebanho;
- Identificar animais sob estresse de calor ou frio;
- Medir a frequência respiratória, batimento cardíaco, sudorese e temperatura.

Para realizar o monitoramento dos animais, são utilizadas etiquetas ou tags de identificação por radiofrequência ou RFID. Na Figura 9 são mostrados dois exemplos de sensores utilizados no monitoramento de gado. Nos locais onde deseja-se realizar as medidas de RFID, são instaladas antenas que irão excitar as etiquetas e receber as medidas.

4.2 Sensoriamento da saúde e comportamento animal

O acompanhamento e controle da saúde animal é de suma importância para a área da pecuária. Doenças e infestações em rebanhos influenciam diretamente no fornecimento de alimentos à população, impactando em questões econômicas e também da saúde humana. O avanço da área de biosensores e as tecnologias IoT podem ser utilizadas como plataforma para o desenvolvimento de poderosas ferramentas de gerenciamento e controle da saúde animal.



(a) Etiqueta de monitoramento de gado da empresa Connecterra [33].



(b) Etiqueta de monitoramento de gado da empresa Moocall [34].

Figura 9: Sistemas de monitoramento e rastreamento de gado.

A evolução na área de biosensores [7] permite, de maneira não invasiva, sensoriar e monitorar de diversos parâmetros associados a saúde animal, como por exemplo:

- Sensoriamento da ingestão alimentar, fazendo uso de sensores mecânicos ou acústicos;
- Sensoriamento da respiração e identificação de compostos orgânicos voláteis que podem ser empregados no diagnóstico de doenças respiratórias como tuberculose, brucelose e diversos tipos de viroses;
- Sensoriamento de metabólitos presentes na transpiração que permitam identificar parâmetros relacionados a saúde animal;
- Sensoriamento de nível de glicose;
- Sensoriamento do cio e período de ovulação para orientar ações de inseminação artificial e de cuidados pertinentes a cada fase;
- Sensoriamento do nível cortisol, hormônio associado ao stress.

Os biosensores também podem ser utilizados para a análise das rações e insumos utilizados na alimentação animal, com objetivo definir uma melhor composição destes de acordo com a saúde, estágio e nível de produção de cada animal. Além disso, os biosensores podem ser utilizados para a análise e caracterização dos produtos finais da pecuária, como leite, carne e ovos. Esta análise e caracterização pode ser realizada, por exemplo, medindo níveis de nutrientes, componentes bioativos e químicos.

Os avanço das áreas de nanotecnologia e nanomedicina, por outro lado, tem possibilitado o desenvolvimento de nanobiossensores que, por sua vez, reduzem a necessidade de coleta e transporte de amostras biológicas para a realização de exames [7], e podem ser utilizados para a redução do tempo de diagnósticos e, consequentemente, de início de tratamentos.

O sensoriamento acústico também pode ser utilizado para a identificação de parâmetros de saúde, bem como para a identificação de possíveis enfermidades, conforme testes realizados em apiários, criações de porcos e de galinhas [7]. O monitoramento por imagens também podem ser empregado para auxiliar na detecção padrões de comportamento dos animais que possam estar associados a doenças.

O emprego de tecnologias modernas de biosensores associadas as tecnologias de comunicação IoT, incluindo as tecnologias de sensoriamento vestíveis ou *wearables*, permitem o desenvolvimento de um grande número de aplicações que podem ser empregadas para monitorar cada animal em tempo real, e identificar parâmetros e comportamentos que estejam associados a doenças e infecções em fases iniciais. Estas informações podem ser relacionadas ao tipo de alimentação, tipo de confinamento, informações do ambiente, dentre outras, que permitam identificar causas possíveis de problemas de saúde e estresse, bem como orientar melhorias das condições ambientais e de atividades de rotina. Ferramentas inteligentes de diagnóstico e de modelamento de doenças podem ser utilizadas para a realização de rápidos diagnósticos, evitando epidemias, bem como para sugerir tratamentos e orientar tomadas de decisão que considerem, por exemplo, os possíveis impactos de saúde tanto na população animal quanto humana. O emprego de sistemas de armazenamento e análise de dados em grandes volumes, *big data*, associada a inteligência artificial podem ser utilizadas para criação e aperfeiçoamento de modelos bio matemáticos visando melhorar os processos de detecção e tratamento de doenças, melhoria da qualidade da alimentação animal, melhoria do ambiente e do bem estar dos animais, identificação de padrões de comportamento associados a enfermidades ou estresse, dentre outros aspectos que impactam no aumento da qualidade, eficiência e produtividade na pecuária.

4.3 Monitoramento de peso em rebanhos

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, com cerca de 220 milhões de cabeças em 2018. Segundo projeções do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, o Brasil será o primeiro exportador de carne bovina do mundo em 2027, sendo seguido pela Índia, Austrália e Estados Unidos [35]. Uma solução que permita o monitoramento de peso individual em rebanhos é uma poderosa ferramenta para otimização de produtividade e uso eficiente de insumos como água e rações.

Uma aplicação inteligente viabilizada pelo IoT consiste no monitoramento de peso e da alimentação de cada animal, e que seja capaz de identificar a possibilidade de ocorrência de doença ou trauma em função de alterações em seus padrões de alimentação. A principal tecnologia empregada para a identificação individual de animais é o RFID. Leitores desta identificação podem ser instalados em pontos estratégicos, como junto aos cochos de alimentação e água, para identificar padrões de alimentação e possíveis anormalidades. As balanças de pesagem de animais podem ser instaladas em locais específicos ou mesmo nas áreas de confinamento ou pastos. Pode-se destacar também que diversas pesquisas tem sido desenvolvidas com sucesso na área de processamento de imagens visando estimar o peso de animais, o que facilita a instalação e reduz os custos de implantação de um sistema de monitoramento de peso de rebanhos. As informações coletadas em campo podem ser transmitidas e processadas em tempo real por aplicações executadas em servidores remotos e que empreguem inteligencia artificial para o processamento dos dados.

O emprego de sistemas inteligentes de monitoramento de peso de rebanhos pode impactar significativamente no aumento de eficiência e produtividade ao proporcionarem benefícios como:

- Permitir o acompanhamento da taxa de ganho de peso de cada animal;
- Permitir identificar a efetividade de uma dada dieta e, consequentemente, aumentar a eficiência no uso de insumos;

- Identificar os animais com baixa eficiência em converter alimento em peso, que seriam economicamente inviáveis para o caso de corte;
- Identificar animais com alta eficiência em converter alimento em peso, que poderiam inclusive ser utilizados em processos de seleção genética para aprimoramento do rebanho;
- Identificar a possibilidade de ocorrência de doença ou trauma devido a repentina perda de peso.

A Figura 10 ilustra um sistema de identificação e pesagem de rebanhos desenvolvido pela empresa Bosch. Este sistema realiza a identificação dos animais, via leitor de RFID, e pesagem diretamente no campo. Tais informações são coletadas por equipamentos alimentados por bateria associadas a painel solar, que se comunicam através de rede mesh com outros equipamentos similares. Concentradores de dados instalados nos escritórios da fazenda, por exemplo, são utilizados para interconectar a rede de equipamentos com o servidor através de conexão com a Internet.



Figura 10: Sistema de identificação e pesagem de rebanhos desenvolvido pela Bosch [36].

5 Aplicações de IoT na distribuição de produtos agropecuários

5.1 Sistemas de monitoramento de logística

No âmbito da logística aplicada à área de produção de alimentos de origem agropecuária, pode-se destacar como grande desafio a perecibilidade e o fato das características de qualidade do produto se alterarem ao longo do tempo e em função de condições climáticas. Neste caso, o controle das condições de transporte e armazenamento são extremamente importantes, sendo a temperatura o principal parâmetro monitorado, associado a outros dados como umidade, luminosidade e níveis do gás etileno, para o caso de frutos, já que este interfere no processo de maturação. A maioria dos sensores empregados atualmente é do tipo fixo, associados a registradores de eventos, ou *dataloggers*, que permitem identificar de maneira tardia, após o processo de transporte, por exemplo, as possíveis causas de perda de qualidade em alimentos.

Como exemplo de aplicação que pode ser viabilizada e potencializada pelas tecnologias de IoT na área de logística de produtos agropecuários, pode citar o emprego de uma rede de sensores, inclusive sensores químicos e biológicos, para monitoramento das condições ambientais de transporte e também dos produtos, associada a soluções inteligentes de análise e processamento em tempo real, que possam atuar de maneira automática e preditiva, para o controle dinâmico das condições ambientais, a fim de aumentar a longevidade e qualidade dos alimentos. Além disso, o monitoramento e compartilhamento em tempo real de informações de geolocalização de cargas, pode ser utilizada na gestão inteligente da logística, visando reduzir o tempo de espera dos produtos para embarque em portos, por exemplo, o que impacta positivamente na qualidade final do produto entregue ao mercado consumidor, e que auxilia na redução de prejuízos associados a perda de alimentos.

O sensoriamento de informações de cargas e produtos pode ser realizada por redes de sensores sem fio que empreguem alguma rede dedicada. O monitoramento remoto das informações das cargas e produtos transportados, bem como de veículos e containers pode ser realizado remotamente fazendo uso de conexão via rede celular entre um concentrador de dados instalado no veículo e o servidor.

As aplicações de IoT podem auxiliar no aumento da eficiência da logística. Por exemplo, permite o monitoramento e gerenciamento de rotas e otimização destas de forma dinâmica destas em função de informações coletadas em tempo real sobre a localização dos veículos e sobre as condições das rodovias, como congestionamentos, ocorrência de acidentes ou problemas rodoviários, o que permite reduzir tempos de esperas e consumo de combustível. O monitoramento de informações dos veículos de transporte podem empregadas para identificar a necessidade de manutenção preventiva, evitando a quebra e parada de veículos durante a execução de transporte. Além disso, o sensoriamento do veículo pode ser utilizado para identificação inteligente da possibilidade de acidentes, seja por conta do trecho de rodovia pelo qual o veículo se encontra, seja em função da detecção de alta velocidade ou parâmetros associados a direção perigosa. A possibilidade de identificação de mercadorias e objetos, fazendo uso de RFID, por exemplo, viabiliza inúmeras aplicações de gestão de estoque e inventários, proporcionando agilidade e confiabilidade.

5.2 Sistemas para rastreabilidade de produtos

A possibilidade de se identificar informações a respeito das fases da cadeia produtiva de um determinado produto é chamada de rastreabilidade. No caso dos produtos agropecuários, a cadeia produtiva é composta principalmente por três segmentos que são a produção de matérias primas, processamento ou industrialização e comercialização. Através de informações de rastreabilidade, é possível identificar, por exemplo, a origem de determinado produto; a identificação dos principais insumos e respectivos fornecedores empregados na produção da matéria prima, informações como vacinas e medicações ministradas, no caso de animais, ou defensivos utilizados em um determinado cultivo; informações a respeito dos diferentes processamentos realizados para a industrialização do produto, informações a respeito das condições de transporte, dentre outras. Desta forma é possível identificar a origem e histórico do produto, permitindo atestar a qualidade do mesmo, bem como comprovar o atendimento à normas sanitárias e regulamentos, além de identificar a causa de possíveis problemas e orientar tomadas de decisão.

A cadeia de produção agropecuária é formada por uma rede complexa de parceiros, sendo que diferentes tipos de produto possuem cadeias de suprimentos também diferentes. Estes são desafios a serem superados pelos sistemas de rastreabilidade. O avanço na área de sensoriamento, aliada as tecnologias do IoT, facilitam o processo de coleta e digitalização de informações distribuídas, bem como a transmissão, concentração em servidores em nuvem e o compartilhamento entre diferentes interessados. A possibilidade de automatizar a coleta de informações agrupa rapidez e segurança dos dados de rastreabilidade. Cada animal pode ser identificado individualmente através de um brinco ou anilha com RFID, facilitando registro e monitoramento de suas informações, como sua alimentação e vacinação. Na etapa de processamento ou industrialização, é possível realizar a associação de cada produto à sua matéria prima. Por exemplo, cada embalagem de carne pode possuir uma identificação vinculada a identificação do animal que a originou. Informações sobre os processamentos envolvidos na industrialização e relativas às condições de transporte, podem ser coletadas de maneira automatizada para compor os dados de rastreabilidade. De maneira semelhante, pode-se monitorar as condições de armazenagem dos produtos nos pontos de comercialização.

A identificação de problemas que podem causar sérias ameaças à saúde pública e à imagem da empresa, como por exemplo, contaminação ou deterioração de alimentos, poderão ser detectados e gerenciados de maneira mais fácil e rápida com a adoção de sistemas de rastreabilidade mais confiáveis e seguros. Algumas soluções de rastreabilidade na área de produtos alimentícios consideram o emprego de IoT associada com a tecnologia *blockchain* [37]. Esta tecnologia é normalmente empregada em criptomoedas, porém, tem sido utilizada em diversas outras aplicações, como para a rastreabilidade de ingredientes farmacêuticos utilizados na fabricação de remédios. A tecnologia *blockchain* pode ser definida como uma base de dados distribuída e descentralizada, possibilita o registro digital e permanente de informações e transações. A tecnologia considera mecanismos de segurança, rastreabilidade, autenticidade e imutabilidade das informações. No caso da cadeia de produção agrícola, cada parceiro acrescentaria e autentificaria digitalmente suas informações em um registro no blockchain referente a um determinado produto. O histórico de tal registro, como suas alterações, são compartilhadas com todos os parceiros envolvidos, assegurando transparência e confiabilidade. Desta forma, fica facilitada a realização de auditorias, bem como identificação de irregularidades.

6 Aplicações de IoT para áreas remotas

A seguir são apresentadas algumas das possíveis aplicação de IoT para o atendimento à áreas remotas.

6.1 Prevenção de desastres

As tecnologias associadas ao IoT podem ser empregadas em diversos tipos de aplicações relacionadas a segurança e prevenção de desastres em áreas remotas, assim como em áreas povoadas. Os efeitos de certos desastres, mesmo em áreas remotas, podem causar grandes impactos ambientais, econômicos e sociais, como, por exemplo no caso de:

- Instabilidades em barragens de água e rejeitos de minérios;
- Instabilidades e deslizamento de encostas e barrancos às margens de rodovias ou em povoados e bairros;
- Elevações críticas nos níveis de água em represas;
- Inundações em áreas estratégicas;
- Incêndio em áreas importantes como aquelas reservadas para o cultivo, rebanho e áreas de preservação ambiental.

A IoT possibilita o monitoramento remoto e em tempo real de diversos parâmetros coletados por uma rede de sensores instalados na área com potencial de desastre. Alguns exemplos de sensoriamentos que podem ser considerados neste caso, estão apresentados a seguir:

- Monitoramento metereológico para identificação de possíveis causas de acidentes, como alto volume de precipitações de chuva, incidência de ventos, sua velocidade e direção, umidade relativa do ar, dentre outros;
- Sensoriamento de informações do solo, como umidade e capacidade de absorção de água;
- Sensoriamento de vibrações do solo e de estruturas;
- Medidores de níveis de água, para o caso de monitoramento de inundações e represas;
- Monitoramento por imagem fazendo uso de câmeras e drones;
- Sensoriamento baseados em laser com diferentes fins como: identificação de desgastes e alterações em estruturas, análise de volumes em tanques, deslocamentos de terra, dentre outros;
- Detectores de fumaça, para o caso de incêndios.

Além da rede de sensoriamento, as tecnologias de IoT possibilitam que sistemas de análise inteligentes possam ser empregados para, a partir das informações monitoradas, prever possíveis desastres, gerar alertas de emergência e permitir que medidas de segurança e de mitigação dos riscos possam ser tomadas com agilidade e antecedência. Tais medidas podem reduzir os impactos do acidente, tanto materiais, ambientais quanto de vítimas, podendo até mesmo, em certos casos, permitir que ações preeditivas possam evitar que o acidente ocorra. A possibilidade

de compartilhamento destas informações dentre várias entidades de interesse como defesa civil, corpo de bombeiros, hospitais, além de entidades e órgãos municipais, estaduais e federais, favorece tomadas de ação conjunta para a mitigação de riscos e minimização de impactos de acidentes.

Algumas soluções de IoT estão sendo desenvolvidas e utilizadas na prevenção e minimização de impactos de desastres em áreas remotas. Um exemplo de iniciativa neste sentido é a solução da *startup* portuguesa *SmartForest*, ilustrada na Figura 11, que monitora remotamente temperatura, umidade relativa do ar, existência de fumo, dentre outros parâmetros, para a prevenção e detecção de incêndios florestais. A rede de sensores, alimentada por bateria associada a painel solar, comunica entre si através de uma rede sem fio *ad hoc*. Os dados da rede de sensores são encaminhados de concentradores para o servidor remoto, fazendo uso de conexão estabelecida via rede celular.



Figura 11: Sistema de prevenção de incêndios florestais da *SmartForest* [38].

6.2 Monitoramento de florestas

O tema do desmatamento de florestas é de grande relevância para a comunidade global. Apesar da importância do tema, ainda hoje boa parte do trabalho de identificação e monitoramento de áreas desmatadas e em processo de degradação e do monitoramento de áreas de reflorestamento é realizado de forma manual. Na indústria florestal de hoje, o monitoramento do crescimento de árvores é realizado no máximo uma vez ao ano e envolve, por parte de grandes empresas, centenas de funcionários na realização dos trabalhos. Em plantações de eucalipto, por exemplo, onde as colheitas são feitas a cada seis anos, são realizadas cinco verificações em média sobre o estado da plantação [39].

Caso o monitoramento do crescimento das florestas e plantações de árvores fosse automatizado, apenas uma visita ao campo poderia ser realizada para instalação de equipamentos, e o monitoramento do crescimento poderia ser realizado diariamente. A empresa brasileira Treevia possui uma solução de inventário florestal baseada em IoT. O sistema utiliza sensores sem fio que envolvem as árvores como cintas. À medida em que a árvore cresce, os sensores capturam mudanças em seu diâmetro e enviam esta informação à um banco de dados. Adicionalmente, os dados dos sensores são combinados com informações retiradas de imagens de satélites para melhorar o monitoramento das áreas em crescimento. Todos os dados são analisados utilizando técnicas de aprendizado de máquina e *big data* para geração de relatórios que levarão à tomadas

de decisão. O sistema de monitoramento permite redução do custo de mão de obra, além da possibilidade de tomada de decisões mais assertivas e em um curto espaço de tempo.

6.3 Segurança patrimonial

A segurança de bens em áreas remotas envolvem desafios que podem ser superados com emprego de IoT. As tecnologias de IoT permitem que um grande número de sensores possam ser instalados em cargas, maquinários e animais, e que estes possam ser monitorados e gerenciados remotamente. Sistemas inteligentes podem identificar automaticamente a ocorrência de atividades anormais ou suspeitas e permitir que ações pertinentes sejam tomadas de forma rápida, visando assegurar a segurança de bens. Desta forma, diversas aplicações de segurança patrimonial para áreas remotas podem ser desenvolvidas, permitindo, por exemplo:

- Minimizar a ocorrência de roubos tanto de cargas em rodovias quanto de maquinários e animais na fazenda, através da geração de alertas e sinalizações automáticas e da realização de procedimentos de segurança adicionais como travamento de portas de veículos, corte de combustível em veículos e maquinários, além do travamento de cancelas;
- Realizar rondas de segurança em grandes áreas, ou mesmo acompanhamento remoto de atividades suspeitas, através do uso de drones equipados com câmeras, cujas rotas possam ser orientadas em função da detecção destas atividades;
- Recuperar bens, incluindo cargas, maquinários e animais, graças a localização remota, viabilizada através do uso de GPS e conexão via rede celular.

7 Conclusões

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de alimentos. Porém, ainda possui um grande potencial a ser explorado nesta área com relação à eficiência do trabalho no campo e no aumento da produtividade. Neste contexto, a IoT apresenta-se como uma poderosa e versátil ferramenta que deve ser considerada como estratégica para o desenvolvimento do país, bem como para o monitoramento e integração de áreas remotas.

O presente relatório apresentou alguns exemplos de aplicações de IoT para a agropecuária e também para áreas remotas. A quantidade de novas informações geradas pelas redes de IoT nestas aplicações, bem como a utilização de técnicas como a inteligencia artificial e *Big Data Analytics*, permitirão que um universo de novas aplicações ainda sejam idealizadas e viabilizadas. Desta forma, o impacto e o potencial de ganhos de produtividade e eficiência a serem alcançados com o uso de IoT podem superar consideravelmente as expectativas iniciais.

As aplicações de IoT descritas no relatório apresentam demandas distintas para as redes de IoT. Para algumas aplicações são necessárias altas taxas de dados e baixa latência, como na transmissão de vídeos de alta resolução e em tempo real para aplicações de imagem com drones. Já para algumas aplicações de redes de sensores, um pequeno volume de dados coletados dos sensores pode ser trafegado na rede apenas uma vez ao dia. Estas demandas distintas mostram que as redes para atender às aplicações de IoT deverão ser flexíveis o suficiente para suportar os diferentes requisitos. Sem essa flexibilidade, modelos de negócios podem ser inviabilizados, reduzindo o impacto social e econômico das futuras redes.

Referências

- [1] Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) e Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), “Pib do agronegócio brasileiro de 1996 a 2018.” <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>, [Online; Acesso em 07/03/2019].
- [2] Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), “Cenário para 2019 é de safra maior de grãos, alta do pib e do faturamento do agro.” <https://www.cnabrasil.org.br/noticias/cenario-para-2019-e-de-safra-maior-de-graos-alta-do-pib-e-do-faturamento-do-agro>, 2019, [Online; Acesso em 07/03/2019].
- [3] BNDES e MCTIC, “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil, Produto 7C: Aprofundamento de Verticais – Rural,” *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)*, Dez 2017.
- [4] ——, “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil, Produto 2: Roadmap tecnológico,” *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)*, Dez 2017.
- [5] R. C. Andrew, R. Malekian, and D. C. Bogatinoska, “Iot solutions for precision agriculture,” *41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Maio 2018.
- [6] H. Sundmaeker, C. Verdouw, S. Wolfert, and L. Pérez-Freire, “Internet of food and farm 2020,” *Fonte*, Jan 2016.
- [7] S. Neethirajana, S. K. Tutejaa, S.-T. Huangb, and D. Keltonc, “Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management,” *Biosensors and Bioelectronics*, pp. 398–407, 2017.
- [8] E. P. Domingues, A. S. Magalhães, and R. M. Ruiz, “Cenários de mudanças climáticas e agricultura no brasil: Impactos econômicos na região nordeste,” *Revista Econômica do Nordeste*, pp. 229–246, July 2017.
- [9] NASA, “Study: Third of big groundwater basins in distress,” <https://www.nasa.gov/jpl/grace/study-third-of-big-groundwater-basins-in-distress>, [Online; Acesso em 15/03/2019].
- [10] A. S. Richey, B. F. Thomas, M.-H. Lo, J. T. Reager, J. S. Famiglietti, K. Voss, S. Swenson, and M. Rodell, “Quantifying renewable groundwater stress with grace,” *Water Resouces Research*, pp. 5217–5238, Jun 2015.
- [11] Meteobot, “Meteobot weather stations,” <https://meteobot.com/en/weather-stations/>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [12] B. Onwuka, “Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth,” *Scholarly Journal of Agricultural Science*, pp. 89–93, July 2016.
- [13] Teralytic, “Teralytic media kit,” <https://teralytic.com/media.html>, [Online; Acesso em 28/02/2019].

- [14] DTN, “DTN Smart Trap,” <https://www.dtn.com/industries/agriculture/agribusiness/dtn-agronomic-platform-agribusiness-home/>, [Online; Acesso em 07/03/2019].
- [15] FAO - Food and Agriculture Organization of United States, “Water uses,” http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/, [Online; Acesso em 12/02/2019].
- [16] K. Frenken and V. Gillet, “Irrigation water requirement and water withdrawal by country,” *FAO AQUASTAT Reports*, Nov 2012.
- [17] C. Kamienski and M. C. Visoli, “Swamp: uma plataforma para irrigação de precisão baseada na internet das coisas,” *Fonte*, vol. 15, no. 20, pp. 76–84, Dez 2018.
- [18] SigFox, “IoT soil condition monitoring sensors will optimize agriculture through data,” <https://www.sigfox.com/en/iot-soil-condition-monitoring-sensors-will-optimize-agriculture-through-data-2>, [Online; Acesso em 26/02/2019].
- [19] S. M. Ishikava and G. Figueiredo, “Olerícolas para cultivo em ambiente protegido,” *Revista Casa da Agricultura*, Abr 2011.
- [20] G. d. S. e. S. e. R. M. Eliseu Alves, “Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010,” *Revista de Política Agrícola (Embrapa)*, pp. 80–88, Abr./Maio/Jun 2011.
- [21] Mundo Educação, “Êxodo rural no Brasil. O êxodo rural no Brasil e seus efeitos,” <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/Exodo-rural-no-brasil.htm>, [Online; Acesso em 20/02/2019].
- [22] New American Economy Research Fund, “A vanishing breed: How the decline in u.s. farm laborers over the last decade has hurt the u.s. economy and slowed production on american farms,” <https://research.newamericanconomy.org/report/vanishing-breed-decline-u-s-farm-laborers-last-decade-hurt-u-s-economy-slowed-production-american>, [Online; Acesso em 20/02/2019].
- [23] FAO - Food and Agriculture Organization of United States, “Global agriculture towards 2050,” http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf, [Online; Acesso em 20/02/2019].
- [24] USDA - United States Department of Agriculture, “Farm labor,” <https://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-labor/>, [Online; Acesso em 20/02/2019].
- [25] Hatari Labs, “Tree / crop counting and classification with python and scikit-image - tutorial,” <https://www.hatarilabs.com/ih-en/tree-counting-and-classification-with-python-and-scikit-image-tutorial>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [26] Workswell - Thermal Imaging Systems, “Detection of Water Stress in Cereals Using the UAV Thermography – Drone Thermal Camera,” <https://www.drone-thermal-camera.com/detection-water-stress-cereals-using-uav-thermography/>, [Online; Acesso em 28/02/2019].

- [27] DroneZon - Drone Technology, Knowledge, News Reviews, “Multispectral Imaging Camera Drones In Farming Yield Big Benefits,” <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/multispectral-sensor-drones-in-farming-yield-big-benefits/>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [28] ITU - International Telecommunications Union, “e-agriculture in action: Drones in agriculture,” https://www.itu.int/pub/D-STR-E_AGRICULT.02-2018, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [29] Investiere Venture Capital, “The seven transformations of a weed killer,” <https://www.investiere.ch/blog/the-seven-transformations-of-a-weed-killer/>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [30] Root AI, “Root ai - reveal,” <https://www.youtube.com/watch?v=c-JduOfLEpc>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [31] CNBC, “Wave of agriculture robotics holds potential to ease farm labor crunch,” <https://www.cnbc.com/2018/03/08/wave-of-agriculture-robotics-holds-potential-to-ease-farm-labor-crunch.html>.
- [32] FF Robotics, “Automatic fruit picker demonstration by ff robotics : IFTA 2017,” <https://www.youtube.com/watch?v=UaL3UxUclKY>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [33] AgFunders News, “Connecterra raises \$1.8m for intelligent animal health monitoring technology,” <https://agfundernews.com/connecterra-raises-1-8m-for-intelligent-animal-health-monitoring-technology5867.html>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [34] Postcapes, “Moocal - wireless calving alert sensors,” <https://www.postcapes.com/wireless-calving-alert-sensors-moocall/>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [35] P. e. A. M. Ministério da Agricultura, “Projeções do agronegócio, brasil 2017/2018 a 2027 - projeções de longo prazo,” pp. 13–22, 2018.
- [36] Bosch, “Pecuária de precisão.” <https://www.bosch.com.br/noticias-e-historias/como-alimentar-o-mundo/pecuaria-de-precisao/>, [Online; Acesso em 28/02/2019].
- [37] Y.-P. Lin, J. R. Petway, J. Anthony, H. Mukhtar, S.-W. Liao, C.-F. Chou, and Y.-F. Ho, “Blockchain: The evolutionary next step for ict e-agriculture,” *Environments 2017*, July 2017.
- [38] Smart Forest, “Smart sensing for a green future,” <http://www.smartforest.pt>, [Online; Acesso em 07/03/2019].
- [39] Agência FAPESP, “Iot technology for remote forest monitoring,” <http://agencia.fapesp.br/iot-technology-for-remote-forest-monitoring-/28197/>, [Online; Acesso em 07/03/2019].