

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA**

JORDANA LEMOS ANDRADE DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DE MANEJO DE PASTAGENS ATRAVÉS  
DO USO DA VISÃO COMPUTACIONAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

UBERLÂNDIA - MG

2021

JORDANA LEMOS ANDRADE DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DE MANEJO DE PASTAGENS ATRAVÉS  
DO USO DA VISÃO COMPUTACIONAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito à aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II).

Orientador: Prof. Dr. Leandro Martins Barbero.

Coorientador: Prof. Dr. André Carmona Hernandez - Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos.

UBERLÂNDIA - MG

2021

JORDANA LEMOS ANDRADE DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DE MANEJO DE PASTAGENS ATRAVÉS  
DO USO DA VISÃO COMPUTACIONAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à coordenação do curso  
de graduação em Medicina Veterinária  
da Universidade Federal de Uberlândia,  
como requisito à aprovação na  
disciplina de Trabalho de conclusão de  
curso II (TCC II).

**APROVADA EM 06/11/2021.**

Banca examinadora

---

Prof. Dr. Leandro Martins Barbero

Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Maurício Scoton Igarasi

Universidade de Uberaba

---

Zootecnista Carlos Grossklaus

S&BF Consultoria

UBERLÂNDIA – MG

2021

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ha - Hectare

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

RGB - Red-Green-Blue

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Áreas de pastagem no Brasil, 2017.....                                                         | 12 |
| Figura 2- Quantificação territorial e ocupação das terras e das áreas de vegetação nativa no Brasil..... | 13 |
| Figura 3- Detalhamento das áreas de pastagem no Brasil, 2018.....                                        | 13 |
| Figura 4- Evolução da área de pastagem x produtividade.....                                              | 14 |
| Figura 5- Régua graduada utilizada na medição de pastagem.....                                           | 24 |
| Figura 6- Armação utilizada para coleta de forragem .....                                                | 24 |
| Figura 7- Drone DJI Spark .....                                                                          | 25 |
| Figura 8- Imagem de drone a 120 metros de altura da área de avaliação .....                              | 27 |
| Figura 9- As 4 áreas (A, B, C, D) representadas por uma imagem cada .....                                | 29 |
| Figura 10- Imagem A1 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 29 |
| Figura 11- Imagem A2 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 30 |
| Figura 12- Imagem A3 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 32 |
| Figura 13- Imagem B1 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 33 |
| Figura 14- Imagem B2 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 34 |
| Figura 15- Imagem B3 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 35 |
| Figura 16- Imagem C1 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 36 |
| Figura 17- Imagem C2 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 38 |
| Figura 18- Imagem C3 analisada no software com histograma correspondente .....                           | 39 |

Figura 19- Imagem D1 analisada no software com histograma correspondente ..... 40

Figura 20- Imagem D2 analisada no software com histograma correspondente ..... 41

Figura 21- Imagem D3 analisada no software com histograma correspondente ..... 42

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Peso (kg) das amostras de forragem coletadas no campo .....            | 27 |
| Tabela 2- Peso (kg) por hectare de massa de forragem de cada ponto de coleta ... | 28 |
| Tabela 3- Valor média de massa de forragem em kg/ha e desvio padrão .....        | 28 |
| Tabela 4- Dados do histograma da imagem A1 .....                                 | 30 |
| Tabela 5- Dados do histograma da imagem A2 .....                                 | 31 |
| Tabela 6- Dados do histograma da imagem A3 .....                                 | 32 |
| Tabela 7- Dados do histograma da imagem B1 .....                                 | 33 |
| Tabela 8- Dados do histograma da imagem B2 .....                                 | 34 |
| Tabela 9- Dados do histograma da imagem B3 .....                                 | 36 |
| Tabela 10- Dados do histograma da imagem C1 .....                                | 37 |
| Tabela 11- Dados do histograma da imagem C2 .....                                | 38 |
| Tabela 12- Dados do histograma da imagem C3 .....                                | 39 |
| Tabela 13- Dados do histograma da imagem D1 .....                                | 40 |
| Tabela 14- Dados do histograma da imagem D2 .....                                | 42 |
| Tabela 15- Dados do histograma da imagem D3 .....                                | 43 |
| Tabela 16- Análise individual das médias de cada imagem .....                    | 44 |
| Tabela 17- Análise das médias das 3 imagens do mesmo grupo .....                 | 44 |
| Tabela 18- Análise das médias de 2 imagens de grupos diferentes .....            | 45 |
| Tabela 19- Análise das médias de 3 imagens de grupos diferentes .....            | 46 |

## RESUMO

O aprimoramento tecnológico tem contribuído sobremaneira para o desenvolvimento das atividades rurais, tanto agrícolas quanto pecuárias. No Brasil, a criação extensiva de animais é predominante, característica esta que ressalta a importância do manejo de pastagem para otimização da produção com vistas a atender a demanda interna e mundial, mantendo a sustentabilidade. Nesse cenário, esse trabalho teve por objetivo utilizar o drone como ferramenta tecnológica para, de forma prática e eficiente, auxiliar na mensuração do pasto, base alimentar da produção animal. Para análise da viabilidade do uso de drones para manejo de pastagem, foram escolhidas áreas de pastagem de *Panicum* na Fazenda Experimental Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia, aleatoriamente, com diferentes alturas, para que fossem coletadas nessas áreas massa de forragem manualmente e imagens com o drone, permitindo assim comparar os dados obtidos pelos dois métodos. Determinados os piquetes a serem avaliados, com auxílio de uma régua graduada, foram medidos 100 pontos de altura de touceiras. Os valores foram relacionados em ordem crescente a fim de obter cinco médias dos 100 pontos coletados. Determinado o valor de cada média, foram encontrados 4 pontos com esse valor de altura, para cada média obtida, totalizando vinte pontos por piquete. Esses pontos foram identificados com uma armação de PVC de 1m<sup>2</sup>, 1,5 metros acima do solo. Com o uso do drone DJI Spark foram obtidas 3 imagens para cada ponto, sendo 4 pontos para cada valor médio de altura determinado, para as 5 médias, totalizando 60 imagens tiradas pelo drone para cada piquete. Após a coleta das imagens, foi retirada a forragem que se encontrava interna à armação de PVC, de todos os pontos, rente ao solo, armazenada em sacos de polietileno, sendo pesada para se obter a matéria verde. A massa de forragem coletada no último ponto de cada média foi utilizada como sub verde, que corresponde a uma amostra de todo o material coletado e que foi homogeneizado, para então ser levada à estufa por 48 horas a 65°C. Após a secagem as amostras foram pesadas e por meio da relação entre massa seca e massa verde da sub amostra, foi calculada a matéria seca, e esse valor foi correlacionado para os demais pontos da média. Dessa forma, foram feitas cinco sub verdes por piquete, uma correspondente a cada média. Com base em todos os dados aqui apresentados, foi possível concluir que a análise no software de pelo menos duas imagens é representativa, tendo a estimativa de massa de forragem semelhante à média encontrada pela coleta manual.

Palavras-chave: drone, pecuária 4.0, massa de forragem, agricultura 4.0, VANT.

## ABSTRACT

Technological improvement has greatly contributed to the development of rural activities, both agricultural and livestock. In Brazil, extensive animal husbandry is predominant, a feature that highlights the importance of pasture management to optimize production in order to meet domestic and global demand, while maintaining sustainability. In this scenario, this work aimed to use the drone as a technological tool to, in a practical and efficient way, assist in the measurement of pasture, the food base of animal production. To analyze the feasibility of using drones for pasture management, pasture areas of *Panicum* were chosen at the Experimental Farm Capim

Branco of the Federal University of Uberlândia, randomly, with different heights, so that forage mass were collected manually in these areas and images with the drone, thus allowing to compare the data obtained by the two methods. Having determined the paddocks to be evaluated, with the aid of a graduated ruler, 100 points of clump height were measured. The values were listed in ascending order to obtain five averages of the 100 points collected. Once the value of each average was determined, 4 points were found with this height value, for each average obtained, totaling twenty points per paddock. These points were identified with a 1m<sup>2</sup> PVC frame, 1.5 meters above the ground. Using the DJI Spark drone, 3 images were obtained for each point, 4 points for each average height value determined, for the 5 averages, totaling 60 images taken by the drone for each paddock. After collecting the images, the forage that was inside the PVC frame was removed from all points, close to the ground, stored in polyethylene bags, and weighed to obtain the green matter. The forage mass collected at the last point of each average was used as sub-green, which corresponds to a sample of all the material collected and which was homogenized, and then taken to the oven for 48 hours at 65°C. After drying, the samples were weighed and through the relationship between dry mass and green mass of the subsample, the dry matter was calculated, and this value was correlated to the other points of the average. Thus, five sub-greens were made per paddock, one corresponding to each average. Based on all the data presented here, it was possible to conclude that the analysis in the software of at least two images is representative, with the estimate of forage mass similar to the average found by manual collection.

Keywords: drone, livestock 4.0, forage mass, agriculture 4.0, VANT.

## SUMÁRIO

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>             | <b>10</b> |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b> | <b>15</b> |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>    | <b>23</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b> | <b>27</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>             | <b>48</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS .....</b>           | <b>49</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), utilizando o poder e alcance da internet, proporciona mudanças rápidas na sociedade, tanto nas cidades, quanto no campo. Elas viabilizam práticas sustentáveis e têm contribuído, há várias décadas, de forma impactante para as diversas áreas do conhecimento, possibilitando o armazenamento e processamento de grandes volumes de dados, automatização de processos e o intercâmbio de informações. Sua transversalidade permite agregar valor e benefício para as variadas áreas de negócios, mercado, agricultura e meio ambiente (MASSRUHÁ; LEITE; MOURA, 2014).

Pelo importante desafio que tem o setor agropecuário de aumentar a produção sem ampliar a área utilizada, é inevitável o uso cada vez mais intenso de novas tecnologias, determinantes para a atual qualificação do Brasil como grande produtor e exportador. A evolução é contínua e consolida uma nova era de tecnologia agrícola.

A Agricultura 4.0, bem como a Pecuária 4.0, que remetem à Indústria 4.0 iniciada na Alemanha em meados de 2010 com completa automatização dos processos produtivos por meio de tecnologias digitais, modificam muitas etapas do ciclo produtivo agropecuário. Englobam a agricultura e pecuária de precisão, a automação e a robótica agrícola, além de técnicas de BigData e a Internet das Coisas. Empregam métodos computacionais de alto desempenho, rede de sensores, comunicação máquina para máquina (M2M), conectividade entre dispositivos móveis, computação em nuvem, métodos e soluções analíticas para processar grandes volumes de dados e construir sistemas de suporte à tomada de decisões de manejo. Além disso, contribuem para melhorar a qualidade do trabalho e a segurança dos trabalhadores, aumentar a eficiência no uso de insumos, elevar os índices de produtividade e reduzir os custos com mão de obra e impactos ao meio ambiente.

A aplicação da Agricultura 4.0 exige também investimento em capital humano, que precisa ser capacitado para lidar com o novo formato dos dados e informações do agronegócio e com as tecnologias, que por sua vez necessitam de

hardware e software para viabilizarem sua aplicação. Nos últimos anos, sensores terrestres, drones, sistemas de rastreamento via satélite e outros dispositivos foram introduzidos no ambiente rural para coletar dados referentes às variáveis que influenciam na produtividade, como características do solo, variação climática e incidência de pragas.

Com isso, o setor agropecuário está deixando para trás a visão estereotipada do campo de cadeia pouco tecnificada e conservadora, e encarando o meio rural como um grande investidor em empreendedorismo e inovação.

Seguindo essa óptica, as vertentes tecnológicas devem priorizar sistemas de produção limpos com balanço positivo de carbono baseados na sustentabilidade; agricultura de base biológica; avanços na biologia sintética; exigência de maior eficiência no uso da água pela agropecuária; atuação num novo ciclo de desenvolvimento de energia; aumento da demanda por alimentos, fibras e bioenergia com uso mais eficiente dos recursos naturais e serviços ambientais.

No contexto da agricultura digital, na fase de produção estão emergindo as fazendas digitais ou fazendas inteligentes (smart farms) (PIVOTO et al., 2018), onde o estabelecimento agropecuário é massivamente conectado, monitorado e automatizado em uma infraestrutura totalmente integrada. Por meio da agricultura de precisão, sensores dispersos por toda a propriedade e interligados à internet (internet das coisas) geram dados em grande volume (BigData) que necessitam ser filtrados, armazenados (computação em nuvem) e analisados. A força de trabalho humana não é capaz de gerenciar essa quantidade de dados e necessita do auxílio de algoritmos mais aprimorados por técnicas de inteligência computacional (Analytics). Após a análise, o ciclo é fechado por meio de comandos remotos aos tratores e implementos agrícolas que, munidos de sistema de posicionamento global (GPS), fazem intervenções pontuais apenas onde necessário para otimizar custo, produção e impacto ao meio ambiente (MASSRUHÁ & LEITE, 2016).

O uso de inteligência artificial e de robôs agrícolas autônomos para atuar na agricultura leva a uma nova fase: Agricultura 5.0 (EUROPEAN AGRICULTURAL MACHINERY ASSOCIATION, 2017). Além de abranger as inovações tecnológicas, a agricultura 5.0 engloba características como possibilitar a produção de mais alimentos

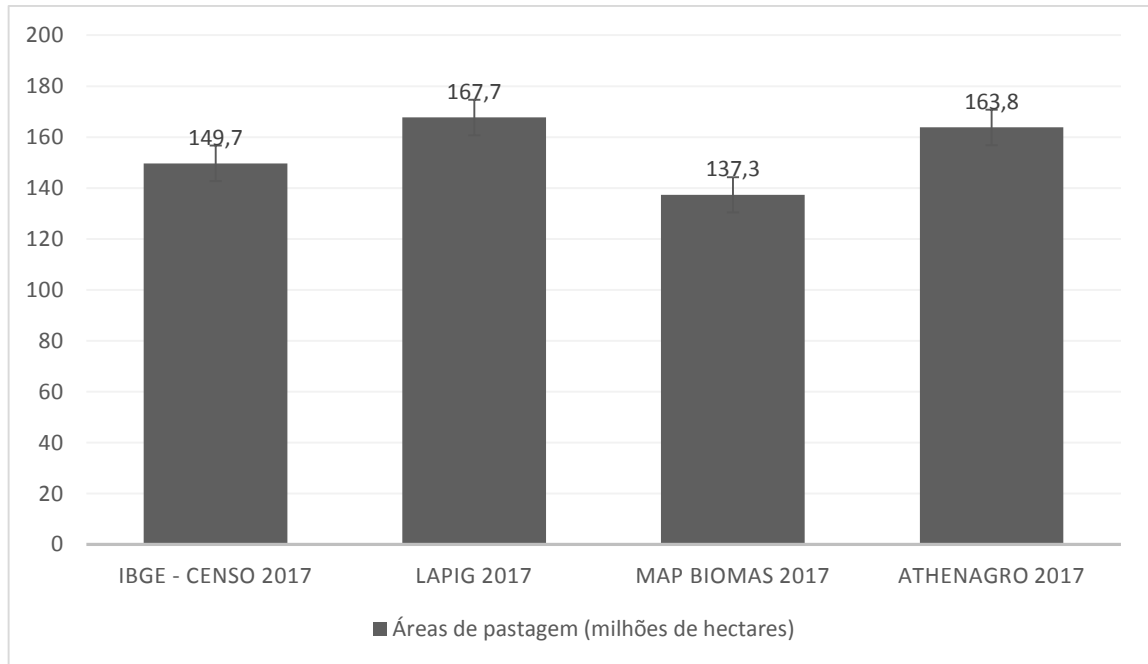
em menor área e com menos insumos; fomentar políticas públicas e estratégias para abordar os aspectos sociais e políticos dos sistemas agrícolas; contribuir com a redução das perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento; e minimizar o impacto no uso dos recursos naturais e no ambiente (FRASER; CAMPBELL, 2019).

Dentre as várias ferramentas disponíveis, a utilização de veículos aéreos não tripulados (drones) representa uma alternativa atraente. O mapeamento por drone utiliza imagens atualizadas e de alta definição via sensoriamento remoto e avalia a produtividade com base em técnicas espectrais. O equipamento é utilizado como importante ferramenta por produtores rurais para monitoramento da lavoura, da pastagem e dos animais.

Nesse panorama, o objetivo desse trabalho é viabilizar o uso de drones como ferramenta de manejo de pastagem, minimizando possíveis erros da mão de obra humana que incorrem em queda na produção animal e perenidade do pasto, otimizando tempo de serviço e aumentando a eficiência na utilização das pastagens.

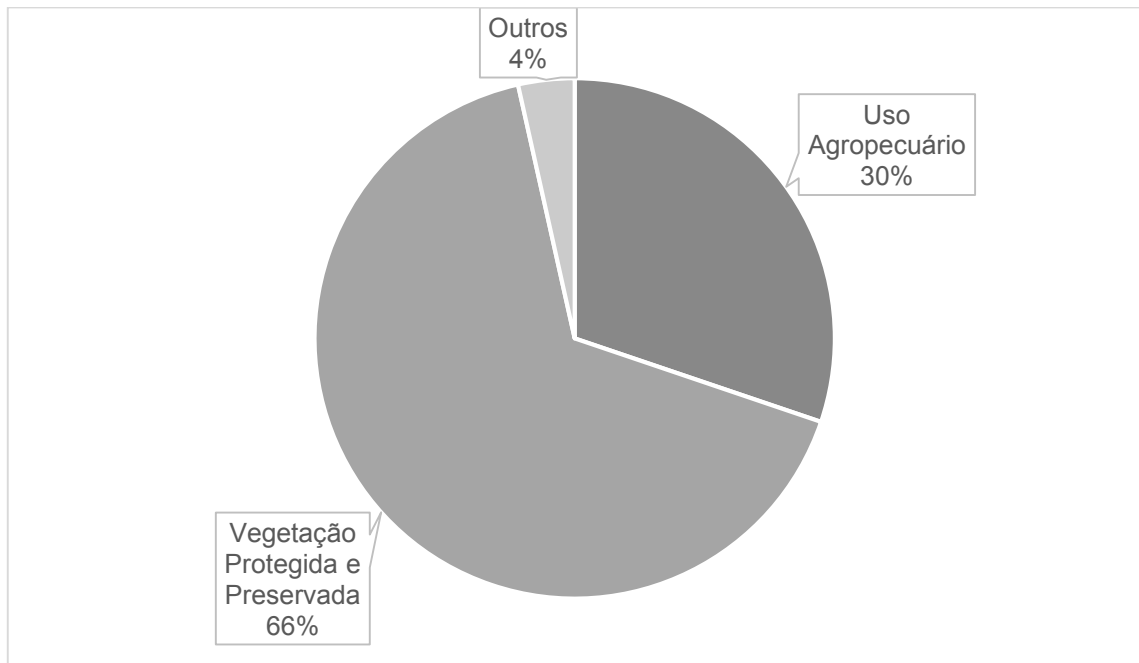
A figura 1 apresenta a área de pastagem no Brasil, em 2017, analisada por quatro fontes distintas, tendo como valor médio 154,62 milhões de hectares. De acordo com a figura 2, 30,2% das áreas de vegetação do país são utilizadas pela agropecuária. A figura 3 aponta que 136,8 milhões de hectares são de pastagem exclusiva em bom estado. E na figura 4, observa-se a relação inversamente proporcional que existe entre produtividade e área de pastagem: quanto maior a produtividade, menor a área utilizada. As quatro figuras representam números expressivos, validando a importância do manejo de pastagem nessa trajetória tecnológica e mais produtiva.

Figura 1- Áreas de pastagem no Brasil, 2017.



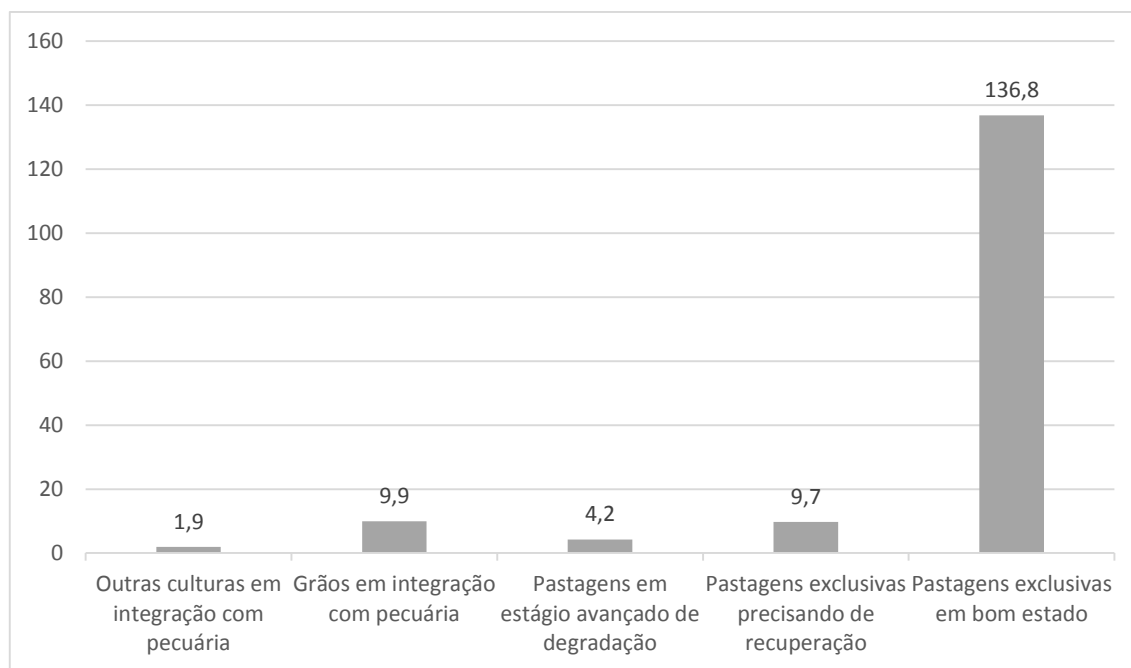
Fonte: Athenagro, IBGE, Lapig, MapBiomas.

Figura 2- Quantificação territorial e ocupação das terras e das áreas de vegetação nativa no Brasil.



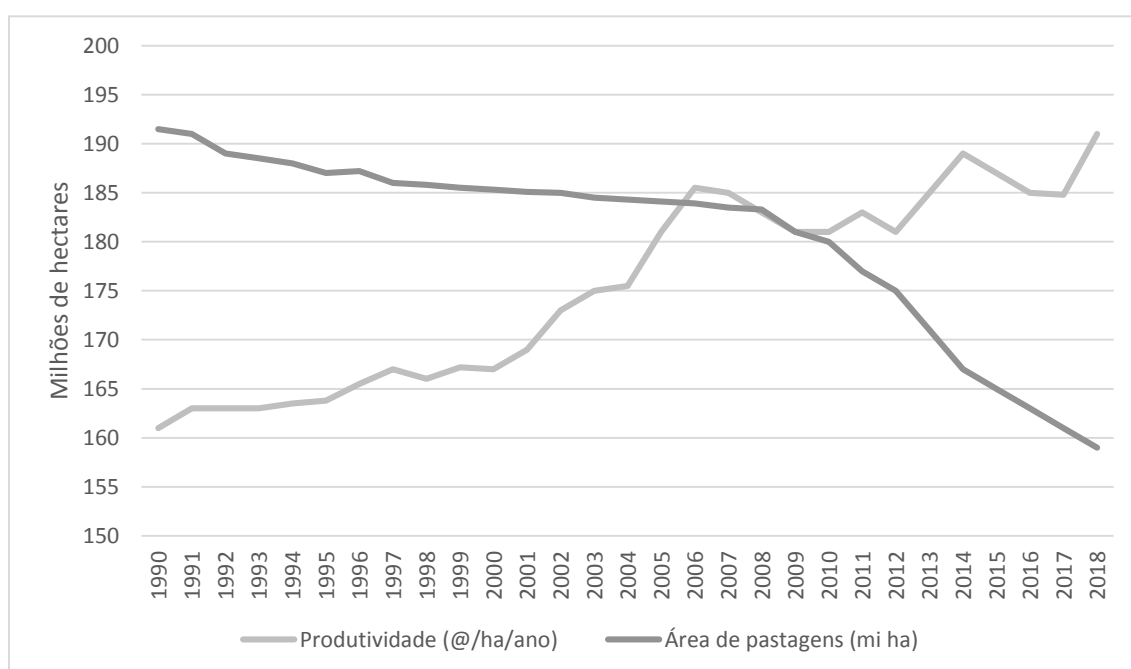
Fonte: SFB, EMBRAPA, IBGE, MMA, FUNAI, DNIT, ANA, MPOG.

Figura 3- Detalhamento das áreas de pastagem em 2018.



Fonte: Athenagro, dados Agroconsult, Agrosatelite, IBGE, Inpe/Terraclass, Lapig, Rally da Pecuária, MapBiomias, Rede Fomento.

Figura 4- Evolução da área de pastagens x produtividade.



Fonte: Athenagro, dados Agroconsult, Agrosatelite, IBGE, Inpe/Terraclass, Lapig, Prodes, Rally da Pecuária, MapBiomias.

Para que o Brasil, grande exportador que é, fortaleça sua capacidade de produção com sustentabilidade e ao mesmo tempo atenda a demanda global por segurança alimentar e nutricional, tornam-se necessárias a modernização, a tecnificação e a inovação em toda a cadeia produtiva, convergindo para a

agropecuária digital, sendo essa uma excelente prerrogativa para embasar o presente trabalho, tendo o drone como expoente.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os drones foram desenvolvidos pelo engenheiro aeronáutico Abraham Karem em 1977 para serem utilizados como dispositivos de vigilância militar. Através de câmeras e sensores, oferecia suporte para uma posterior operação de ataque, baseando-se em informações obtidas durante os voos de reconhecimento (PERON, 2016). Contudo, por desempenhar a sua função com extrema precisão e agilidade, seu uso foi expandido para funções de reconhecimento e obtenção de imagens não apenas no meio militar (ALVES et al., 2015).

O drone é um tipo de veículo aéreo não tripulado (VANT) capaz de capturar imagens em tempo real de alvos na terra (EISENBEISS, 2009; WATTS et al., 2010). Nos dias atuais, com o aumento dos impactos antrópicos cada vez mais recorrentes, essas tecnologias podem contribuir para um monitoramento ambiental mais eficaz. Avaliações como mapeamento de cobertura de vegetação e uso do solo são rapidamente executadas, facilitando o manejo de áreas e permitindo ações rápidas que podem minimizar os prejuízos ao ecossistema (SALES, 2018).

Começou-se a falar em sensoriamento remoto na década de 1960, sendo seu surgimento estreitamente ligado as fotos aéreas (REEVES, 1975). O termo vem do inglês "remote sensing", palavra usada pela primeira vez nos Estados Unidos por Evelyn L. Pruitt, no ano de 1950, para denominar uma técnica de aquisição de imagens da superfície da terra sem o contato físico direto com os objetos (LIMANA, 2014).

O sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas que analisa parâmetros de superfície de aquisições espaciais e fornece informações por meio da quantificação de energia refletida da radiação eletromagnética quando incide em um alvo qualquer, sem haver nenhum tipo de contato direto, através da medição das respostas dessas interações. (MENESES & ALMEIDA, 2012; LUCÀ, 2018).

Tais técnicas tem a radiação eletromagnética (REM) como elo entre os demais elementos. A energia proveniente da luz do sol é a base de todos os princípios em que se fundamentam essa tecnologia (ANGELIS, 2011; MOREIRA et al., 2003). O alvo é qualquer elemento na terra de onde se extrai as informações, coletadas pelo sensor, através da quantificação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo. Os sensores necessitam de radiação solar para ter energia, e nesse caso, será medida a sua refletância pelos objetos que estão na superfície da Terra (PACHECO et al., 2006; INPE, 2001).

Um dos alvos mais complexos nas análises de sensoriamento remoto é a vegetação, uma vez que uma única planta possui variadas propriedades de reflexão foliar e múltiplos componentes refletores, entre outros fatores (EPIHANIO et al., 1996).

Variáveis espectrais de sensoriamento remoto podem ser representadas de várias maneiras. A mais simples, para sensoriamento remoto na faixa óptica do espectro eletromagnético, é a refletância em uma única banda (por exemplo, vermelho ou infravermelho). Outra, muito usual, é aquela em que as informações de refletância transportadas por cada faixa individual são agrupadas de maneiras específicas, como nos índices de vegetação (WIEGAND et al., 1991).

O espectro eletromagnético, ordenação contínua da energia eletromagnética em função do comprimento de onda ou da frequência, é um componente fundamental para os estudos de sensoriamento remoto. Quando a radiação solar atinge o topo da atmosfera, essa energia pode ter diferentes destinos. Parte pode ser espalhada ou refletida, e outra parte atingir um alvo, que pode ser qualquer objeto ou corpo na Terra. Feito isso, ocorrem fenômenos de refletância, transmitância e absorbância. É através da quantificação dessa energia pelos sensores que o especialista em sensoriamento remoto pode tirar conclusões importantes sobre as condições de uma determinada cultura ou vegetação (MOREIRA, 2003).

O aumento no uso de imagens orbitais é consequência, principalmente, do baixo custo de seus produtos, quando comparado aos métodos tradicionais de fotogrametria e topografia (ROSENDO, 2005). O VANT oferece um imageamento excelente e resolução espacial diferenciada (FERREIRA et al., 2013).

No Brasil, os primeiros relatos de drones ocorreram por volta da década de 80, quando o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) criou o projeto Acauã com fins militares, especificamente. Na mesma época o drone surgiu aplicado na agricultura por meio do projeto ARARA (Aeronave de Reconhecimento Assistida por Rádio e Autônoma), com objetivo de substituir as aeronaves convencionais utilizadas para obter fotografias aéreas, monitorando áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais (JORGE, 2001; MEDEIROS, 2007).

O [Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 \(RBAC-E nº 94/2017\)](#) da ANAC é complementar às normas de operação de drones estabelecidas pelo [Departamento de Controle do Espaço Aéreo \(DECEA\)](#) e pela [Agência Nacional de Telecomunicações \(ANATEL\)](#). A ICA 100-40 está em vigor desde 01 de Julho de 2020 e fornece instruções sobre “aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro”.

Observou-se a grande utilidade do drone no meio rural, visto que são equipamentos de fácil manuseio e de custo relativamente baixo. Quando acoplados com sensores e recursos de imagem, que a cada dia são mais eficientes e precisos, auxiliam os produtores a aumentar a produtividade, favorecendo a gestão e administração animal, tornando-a especificamente traduzida em zootecnia de precisão (MACHADO e NANTES, 2011). Para tal, a ciência trabalha para melhorar a autonomia, manobrabilidade e resistência dos equipamentos objetivando maior flexibilidade e durabilidade dos mesmos (MARRIS, 2013).

Os dispositivos controlados remotamente por aplicativos representaram o ápice do desenvolvimento tecnológico em obtenção de imagens aéreas (ANDERSON et al., 2016). Para além disso, a resistência cultural por parte dos produtores em relação à adoção desta tecnologia e a deficiência de profissionais adequadamente preparados para dar suporte ao produtor no período pós-implantação representaram obstáculos enfrentados na introdução deste tipo de equipamento no meio rural. Esses fatores são decisivos para o sucesso, ou não, do uso desta tecnologia na propriedade (ARTIOLI e BELONI, 2016).

Segundo Rango et al. (2006), o VANT foi utilizado para monitorar especificamente as pastagens, destacando suas possíveis aplicações e os ganhos

por ele agregados na avaliação deste ambiente. A plataforma pôde auxiliar no monitoramento das mudanças da cobertura vegetal, no desenvolvimento de estratégias de pastejo, na determinação da saúde das plantas e na avaliação da eficiência de tratamentos e prevenções. Destacaram também a vantagem de aquisição de imagens de alta resolução por meio de tais ferramentas, em comparação com aeronaves tripuladas, resultando em menor custo, maior flexibilidade no planejamento de missões e melhor detalhamento do alvo.

Outro ponto importante, destacado ainda nos estudos de Rango et al. (2006), foi a possibilidade do uso do sensoriamento remoto em múltiplas escalas para obtenção de um conjunto de dados mais completo. Por exemplo o uso de imagens de plataformas orbitais, de 15 a 30 metros de resolução espacial, para determinar unidades uniformes e, posteriormente, sobre as unidades já definidas, utilizar os VANTs para identificar e avaliar padrões na cobertura vegetal.

De acordo com Hung et al. (2012), com o uso de drone foi feito o mapeamento da distribuição das diferentes espécies de vegetação nas quais foram detectadas a presença de ervas daninhas invasoras em fazendas de gado, possibilitando a realização de estratégias para a melhoria das pastagens. Ressaltaram ainda que alguns drones são capazes de coletar pequenas amostras de solo, pastagem e água, facilitando o rastreamento das características da propriedade.

Diversos estudos já foram realizados medindo a altura das plantas e também a biomassa das mesmas com o uso de sensores terrestres, como foi observado nos trabalhos de Hoffmeister et al. (2013) e de Tilly et al. (2014).

As câmeras com sensores RGB (Red-Green-Blue) são simples, populares, e capazes de fornecer inúmeras informações que auxiliam na tomada de decisões no campo, tais como: detectar falhas de plantio, estágio fenológico das plantas, modelo de elevação do terreno, estresse hídrico, entre outros (EMBRAPA, 2014). Alguns produtores e pesquisadores buscam apenas informações como estas citadas, mais simples e pouco variantes ao longo do tempo. Para esses propósitos, câmeras RGB são eficientes o suficiente para fornecer dados úteis, e que por serem de baixo custo e acessibilidade, têm vantagem em comparação as multiespectrais, como o RGNIR (Red-Green-Blue e Infravermelho), que são caros e de complicado manuseio.

Segundo Harris (2014), uma das possibilidades dos VANTs no monitoramento da pastagem foi pelo cálculo de índices de vegetação. O autor cita o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) como sendo uma boa opção quando utilizou câmera multiespectral com sensor infravermelho, diante do seu histórico no sensoriamento remoto orbital.

As imagens aéreas capturadas por drone foram utilizadas para verificar a uniformidade da cobertura do solo em áreas de produção de grãos e também para a avaliação das pastagens, proporcionando melhor controle da quantidade disponível de pasto a ser fornecido ao rebanho e permitindo maior embasamento quanto à implantação do sistema de integração lavoura-pecuária nas propriedades (PACHECO e BARROS, 2014).

A exploração de dados de sensoriamento remoto em diferentes escalas para a avaliação e o monitoramento da pastagem foi realizada também no trabalho de Ferreira et al. (2014), na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Estado de Goiás. Os autores buscaram encontrar métricas para análise da qualidade da pastagem. Para tanto, realizaram voos em áreas de pastagem com transectos previamente definidos em solo. Nesses transectos foram realizadas leituras com espectrorradiômetro visando uma comparação posterior com as imagens dos VANTs e outras obtidas por satélite. Além disso, foram coletados dados referentes à altura da pastagem, percentual de verde em solo e biomassa. Os resultados obtidos mostraram que há correlação entre os dados.

Com o drone, as imagens e informações obtidas de sistemas de sensoriamento remoto permitiram realizar o rastreamento de toda a área da propriedade, gerando um grande volume de dados. Dessa forma, foi possível fazer uma análise combinada de vários tipos de elementos, tais como: as medições da altura e distribuição da pastagem associadas às condições meteorológicas, interligar as informações sobre as características de pastejo do rebanho com o status corporal dos animais, bem como investigar se a distribuição das áreas de sombreamento e fontes de água estão relacionadas com as características de comportamento animal (KEMPENAAR et al., 2015).

Já nos estudos de Bueren et al. (2015), foram avaliados quatro sensores para o monitoramento de pastagens na Nova Zelândia, sendo uma câmera para captação de imagens na região espectral do visível (RGB), uma câmera alterada para o infravermelho, uma câmera multiespectral de seis canais, e um sensor hiperespectral. Os autores ressaltaram o grande potencial das imagens hiperespectrais para a captação de detalhes e características peculiares da cobertura vegetal, destacando o elevado potencial da câmera multiespectral de seis bandas como ferramenta propícia para avaliação da biomassa da pastagem, uma vez que a mesma detinha bandas com larguras consideráveis no visível e no infravermelho. Os modelos de câmeras para obtenção de imagens no visível e infravermelho próximo também apresentaram bons resultados, embora piores que os demais sensores avaliados.

Em estudo realizado para avaliar o uso do drone obtendo imagens capturadas por câmera fotográfica digital a fim de modelar a distribuição do rebanho bovino, comparado aos resultados obtidos usando rastreadores fixos nos animais (tipo colar), foi observado que o drone consiste em uma prática não-invasiva, capaz de fornecer dados espaciais precisos, úteis para pesquisa ecológica, manejo animal e planejamento de pastagens (MULERO-PÁZMÁNY, 2015).

No trabalho de Munaretto (2015), alguns tipos de sensores já utilizados em VANTs foram apontados. Entre eles, na faixa do visível está o RGB, muito utilizado para agricultura, mineração e monitoramento de áreas. Estes sensores detectam falhas no plantio e estágios de desenvolvimento da planta (EMBRAPA, 2014). Também foram citados os sensores infravermelhos, capazes de identificar estresses hídricos e estimativa de biomassa; multiespectrais, que auxiliam na detecção de aspectos fisiológicos das plantas; hiperespectrais; além dos sensores LIDAR (Light Detection and Ranging), que utilizam o laser como fonte de luz. São grandes as possibilidades dos sensores multiespectrais acoplados a VANTs no mundo da agricultura através da alta resolução espacial em relação a outros tipos de técnicas (NEBIKER et al., 2008).

De acordo com Bendig (2015), foi identificada maior correlação entre biomassa e altura de colheita quando estimada pelo VANT, comparada aos índices espectrais estimados pela razão entre bandas espectrais. (Traduzido pelo autor).

Já nos estudos descritos por Rowbottom (2015), sabendo que a maior parte dos trabalhos com sensoriamento remoto de pastagens envolve apenas análises qualitativas, ou seja, pastagens de alta e baixa qualidade, realizou um projeto utilizando veículos aéreos não tripulados para medir a biomassa de pastagens de forma quantitativamente, aplicando valores nas áreas de alta e baixa produtividades do pasto. A vantagem de se obter dados quantitativos é o auxílio nas decisões de orçamento e gestão da alimentação animal, identificação dos estádios das pastagens para possibilitar seu melhor manejo, bem como os resíduos pós-pastejo. O drone utilizado foi de asa fixa, que é comercialmente disponível, tendo praticamente todos os aspectos da operação automatizados. A câmera utilizada foi digital modificada para embarcar na plataforma e capturar imagens nos espectros visível (RGB) e no infravermelho próximo (NIR) da seção não visível do espectro.

A dissertação de mestrado "Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum – MT" realizada por Linhares (2016) avaliou o desempenho de um VANT quando destinado à análise de áreas com pastagem cultivada. Tal avaliação teve por base a comparação entre o produto de índice de vegetação, calculado por intermédio de ortomosaicos de fotografias adquiridas por um VANT, e o parâmetro de percentual de verde coletado em solo. O índice de vegetação calculado com os dados do VANT foi o Modified Photochemical Reflectance Index (MPRI). Foi realizada também uma comparação entre os índices de vegetação obtidos com o VANT e por plataforma orbital, sendo esses índices o MPRI e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), respectivamente.

Ainda segundo Linhares (2016), os trabalhos desenvolvidos em torno da temática VANT para o monitoramento da pastagem, enfatizando-o como ferramenta para esta finalidade, atuam em quatro segmentos: 1) proposição de métricas: visa propor métricas e formas de avaliação da pastagem usando VANT; 2) estudo de sensores: visa a investigação dos sensores mais adequados ao estudo da pastagem; 3) replicação de técnicas convencionais: visa replicar, por meio dos dados obtidos por VANT, técnicas convencionais de sensoriamento remoto; 4) integração de escalas: análise integrada de dados satelitários e de VANT, com diferentes resoluções espaciais.

Em pesquisa realizada por Nyamuryekung'e et al. (2016), com o objetivo de prever o perfil da ingestão de pasto por vacas criadas extensivamente, obtiveram o acompanhamento dos hábitos alimentares do rebanho, permitindo inferir sobre as características de seleção da dieta e local de preferência de pastejo dos animais.

Os sensores acoplados aos VANTs oferecem vantagens quando comparados aos métodos tradicionais com o uso de satélites. Além disso, esses veículos podem capturar imagens com pixels de alta resolução e sofrem menos interferência atmosférica, reduzindo possíveis erros de amostragem, com melhor custo benefício, e liberdade de data para coleta de dados; além da simplificada operação dos mesmos (PÁDUA et al., 2017; WHITEHEAD et al., 2014; TOTH, 2016).

O trabalho "Mapeamento da cobertura vegetal a partir de imagens de alta resolução obtidas por VANT" realizado por Felix et al. (2017) mapeou a cobertura vegetal de uma área experimental com drone DJI Phantom 3 Professional, utilizando 150 pontos de classificação da vegetação e 4 índices de cobertura vegetal, no espectro visível. Os resultados demonstraram a necessidade de melhorar os estudos dos índices de vegetação no visível, pois foram detectadas dificuldades de distinção dos diferentes tipos de vegetação da área pelos índices selecionados. Com esse trabalho pôde-se concluir que a utilização de sensores RGBs embarcados em drones "comerciais" como Phantom não possibilitam uma classificação adequada da área, sendo necessária a utilização de no mínimo sensores modificados (com infravermelho) ou multiespectrais.

De acordo com Moeckel (2018), foi concluído que a medição manual da altura da planta pode ser substituída pela medição obtida por VANT por fotogrametria. O trabalho de Castro (2018) relatou que o algoritmo por ele utilizado foi capaz de identificar cada planta, individualmente, em suas imagens, incluindo daninhas, e também foi capaz de estimar com precisão a altura da planta em um modelo digital de superfície. (Traduzido pelo autor).

O uso de tais sensores RGB em veículos aéreos não tripulados como os drones são bastante utilizados devido as suas vantagens de autonomia de uso, custo reduzido para aquisição de dados, além de ser um dispositivo "pronto para uso" na

identificação dos recursos da vegetação (JIANG et al., 2019; CUNHA, 2018; FIGUEIREDO et al., 2016).

De acordo com Batistoti et al. (2019), foi desenvolvido um experimento com *Panicum maximum* cv. BRS Tamani na Fazenda Escola da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul onde avaliaram o uso de VANT por fotogrametria para estimar a biomassa com base na altura do dossel, obtida com um modelo de elevação digital e um modelo digital de superfície, em pastagens brasileiras. Constataram que as técnicas aplicadas foram altamente adequadas para estimar a altura do dossel. (Traduzido pelo autor).

A EMBRAPA (2019) elaborou um protocolo descrevendo os procedimentos para a obtenção de dados em campo necessários ao desenvolvimento de metodologias de sensoriamento remoto, orbital e proximal para estimativa de massa de forragem. Foram descritos os procedimentos para tomada de dados de altura, coletas destrutivas para medição direta de massa e captura de imagens por VANTs, bem como procedimentos para o registro e pré-processamento dos dados. Os dados gerados com este protocolo permitem a calibração de modelos agrometeorológicos, como o SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving), e o desenvolvimento de metodologias baseadas em fotogrametria e reconhecimento de padrões para estimativa de massa de forragem em pastagens a partir de imagens aéreas.

Alguns problemas técnicos conhecidos podem atrapalhar o desempenho do drone em campo. A autonomia baixa da bateria limita o tempo de voo em grandes áreas, além do fato de que voar próximo a torres de alta tensão ou antenas de transmissão bloqueiam ou limitam o sinal e o drone não levanta voo. Ademais, em condições climáticas de nebulosidade e precipitação o equipamento não desempenha corretamente as suas funções. Um bom planejamento minimiza a possibilidade de enfrentar tais dificuldades e favorecer uma experiência proveitosa e eficaz (MINUCIO, 2019).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Para análise da viabilidade do uso de drones para manejo de pastagem, foram escolhidas áreas de pastagem de *Panicum* na Fazenda Experimental Capim Branco da Universidade Federal de Uberlândia, aleatoriamente, com diferentes alturas, para que fossem coletadas nessas áreas massa de forragem manualmente e imagens com o drone, permitindo assim comparar os dados obtidos pelos dois métodos.

Determinados os piquetes a serem avaliados, com auxílio de uma régua graduada (figura 5), foram medidos 100 pontos de altura de touceiras. Para que todo o pasto fosse percorrido, o trajeto foi feito em ziguezague. Os valores foram relacionados em ordem crescente a fim de obter cinco médias dos 100 pontos coletados: pontos 1 ao 20, média I; 21 ao 40, média II; 41 ao 60, média III; 61 ao 80, média IV; 81 ao 100, média V (as médias também seguiram ordem crescente). Determinado o valor de cada média, foram encontrados 4 pontos com esse valor de altura, para cada média obtida, totalizando vinte pontos por piquete. Esses pontos foram identificados com uma armação de PVC, semelhante à utilizada para coleta de massa de forragem, de 1m<sup>2</sup>, 1,5 metros acima do solo (figura 6).

Figura 5- Régua graduada utilizada na medição de pastagem.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 6- Armação utilizada para coleta de forragem.



Fonte: Arquivo pessoal.

Com o uso do drone DJI Spark (figura 7), foram obtidas 3 imagens para cada ponto, sendo que a melhor delas foi aproveitada para análise. Seguindo o protocolo de aquisição de fotos aéreas, antes de realizar o voo foram verificadas as condições meteorológicas através o aplicativo UAV Forecast. Com o drone no chão, foi tirada uma foto com o gimbal a  $0^\circ$  (olhando para frente). Foram verificados sinais, níveis das baterias do drone e do rádio, nível de ruído magnético e qualidade dos sensores (para garantir um voo seguro), fixação das peças e quantidade de satélites na visada. Feito isto, o voo foi iniciado mantendo primeiramente estável entre 1 a 3 metros do chão, para posteriormente ir para altitude de 50 metros, podendo variar em 10 metros para mais ou para menos. Ao atingir a altura de cruzeiro, o drone voou até o ponto de interesse, onde a câmera foi ajustada com orientação de  $90^\circ$ . Em pario, as três fotos foram tiradas, espaçadas temporalmente de um segundo. O equipamento foi dirigido a todos os pontos, podendo ter sido necessário fazer mais de um voo. O nível de bateria foi suficiente para voltar ao ponto de partida, onde pousou.

Figura 7- Drone DJI Spark.



Fonte: Internet.

Portanto, foram 3 fotos por ponto, sendo 4 pontos para cada valor médio de altura determinado, para as 5 médias, totalizando 60 imagens tiradas pelo drone para cada piquete.

Após a coleta das imagens, foi retirada a forragem que se encontrava interna à armação de PVC (utilizando-se uma roçadeira), de todos os pontos, rente ao solo, armazenada em sacos de polietileno, sendo pesada para se obter a matéria verde. A massa de forragem coletada no último ponto de cada média foi utilizada como sub verde, que corresponde a uma amostra de todo o material coletado e que foi homogeneizado, para então ser levada à estufa por 48 horas a 65°C. Após a secagem as amostras foram pesadas e por meio da relação entre massa seca e massa verde da sub amostra, foi calculada a matéria seca, e esse valor foi correlacionado para os demais pontos da média. Dessa forma, foram feitas cinco sub verdes por piquete, uma correspondente a cada média.

Os dados coletados foram identificados como pós e pré-pastejo, sendo que as imagens tiveram ainda a identificação do ponto e média.

O parâmetro analisado foi volume de forragem por piquete, e os dados obtidos pelas imagens tiradas por drone foram correlacionados aos dados da coleta e análise manuais de massa de forragem.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Dentre todos os dados coletados e avaliados no desenvolvimento desse experimento, que faz parte de um trabalho mais amplo, uma área foi selecionada para exposição e discussão.

O piquete definido para avaliação comparativa dos dados (figura 8) foi formado com *Panicum*, tem área de 0,5 hectares (Lat: -18.8829 Lon: -48.3356), localizado na Fazenda Experimental Capim Branco - UFU, na cidade de Uberlândia, Minas Gerais). As avaliações foram realizadas no período de dezembro de 2020 a janeiro de 2021.

Figura 8- Imagem de drone da área de avaliação a 120 metros de altura.



Fonte: Arquivo pessoal.

Após a coleta da forragem interna à armação de PVC, o material foi pesado. Os valores estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1- Peso (kg) das amostras de forragem coletadas no campo.

| REPETIÇÕES | GRUPO     |            |             |             |            |
|------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|
|            | I-66,40cm | II-82,85cm | III-99,10cm | IV-109,85cm | V-125,30cm |
| 1          | 0,405     | 0,763      | 1,011       | 1,510       | 0,771      |
| 2          | 0,488     | 0,496      | 1,046       | 0,882       | 1,215      |
| 3          | 0,453     | 0,622      | 1,252       | 0,958       | 1,054      |
| 4          | 0,675     | 0,841      | 1,037       | 0,783       | 0,898      |

Considerando que a armação de PVC possui 1m<sup>2</sup>, os valores da tabela 1 foram calculados para 1 hectare (ha), apresentados na tabela 2.

Tabela 2- Peso (kg) por hectare e média de massa de forragem de cada ponto de coleta.

| Repetições   | GRUPO     |            |             |             |            |
|--------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|
|              | I-66,40cm | II-82,85cm | III-99,10cm | IV-109,85cm | V-125,30cm |
| <b>1</b>     | 4.046,4   | 7.634,2    | 10.113,3    | 15.099,1    | 7.706,8    |
| <b>2</b>     | 4.882,0   | 4.964,1    | 10.464,3    | 8.816,4     | 12.149,6   |
| <b>3</b>     | 4.530,2   | 6.217,7    | 12.518,2    | 9.579,1     | 10.543,4   |
| <b>4</b>     | 6.751,3   | 8.411,4    | 10.373,3    | 7.833,9     | 8.976,2    |
| <b>Média</b> | 5.052,47  | 6.806,85   | 10.867,28   | 10.330,62   | 9.844,00   |

Diante desses dados, foi preconizado que a média de kg/ha fosse calculada a partir dos valores obtidos no grupo III, e então foi calculado o desvio padrão, como apresentado na tabela 3.

Tabela 3- Valor médio de massa de forragem em kg/ha e desvio padrão.

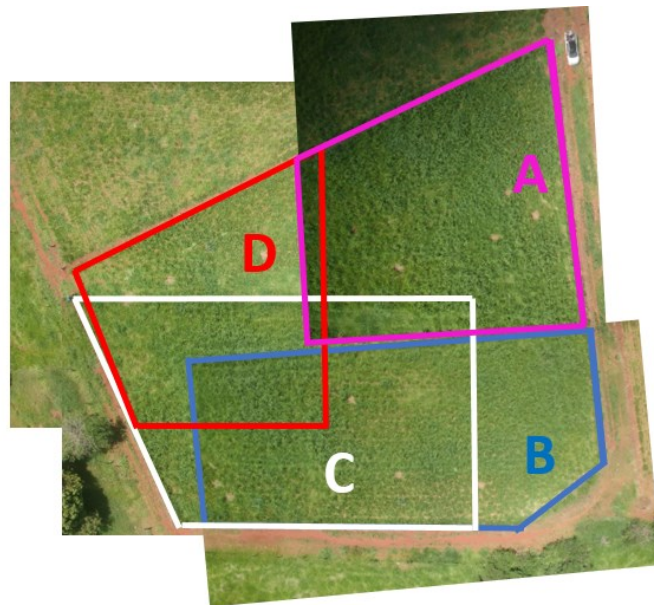
|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| <b>Média grupo III</b>        | 10.867,28 |
| <b>Desvio padrão</b>          | 1.110,62  |
| <b>Valor máximo do desvio</b> | 11.977,90 |
| <b>Valor mínimo do desvio</b> | 9.756,65  |

Os valores obtidos na tabela 3 foram correlacionados com os dados obtidos pelas imagens.

Para analisar as imagens, está em fase de desenvolvimento um software (protegido por patente) em parceria com a Universidade Federal de São Carlos (São Carlos – São Paulo), que tem por finalidade determinar a biomassa da forragem e a proporção de biomassa e de solo com base em uma imagem simples tirada por um drone. O software usa características da imagem e através de um conjunto de técnicas de inteligência artificial, ele estima a biomassa da região de interesse. Dentro de cada região de interesse, há subdivisões de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, que podem ser separadas em intervalos específicos, com tamanho de 540 kg/ha. Para cada intervalo, soma-se a quantidade dessas subdivisões com massa dentro do intervalo especificado. O gráfico com esse resultado chama-se histograma. A partir dos dados gerados pelo histograma correspondente a cada imagem foram feitas as interpretações e análises.

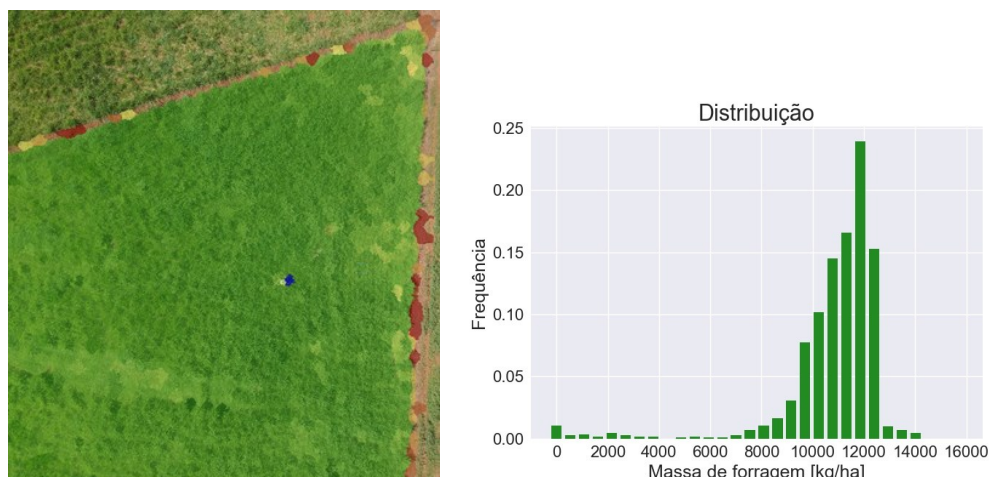
Para a área selecionada (figura 8), foram analisadas 12 imagens pelo software, correspondentes à média III de altura, denominadas de A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, D3, com um histograma correspondente para cada. Os valores do histograma foram representados numericamente em uma tabela com os dados de massa de forragem (kg/ha) e a frequência correspondente, e foram multiplicados um pelo outro. Esse processo foi feito para todos os valores de massa de forragem, resultando no valor médio, repetido em todas as imagens, como pode ser observado nas figuras e tabelas abaixo.

Figura 9- As 4 áreas (A, B, C, D) representadas por uma imagem cada.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 10- Imagem A1 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

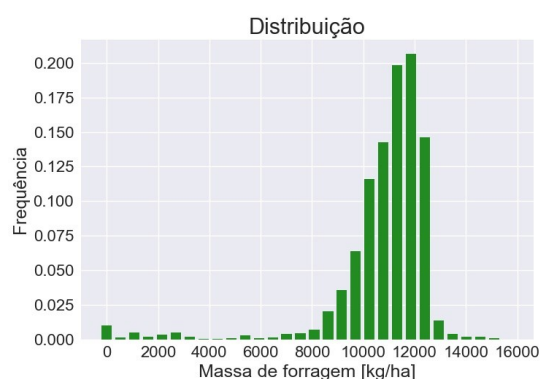
Tabela 4- Dados do histograma da imagem A1.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>        |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 539,166687                           | 0,010108503       | 5,450167807         |
| 1.078,333374                         | 0,002833903       | 3,055892513         |
| 1.617,5                              | 0,003200226       | 5,176366142         |
| 2.156,666748                         | 0,001521188       | 3,280696045         |
| 2.695,833252                         | 0,004402202       | 11,86760217         |
| 3.235,0                              | 0,002544571       | 8,231688379         |
| 3.774,166748                         | 0,001740736       | 6,569826868         |
| 4.313,333496                         | 0,001340839       | 5,783487273         |
| 4.852,5                              | 0                 | 0                   |
| 5.391,666504                         | 0,00071665        | 3,863936597         |
| 5.930,833496                         | 0,001452985       | 8,617414792         |
| 6.470,0                              | 0,00105977        | 6,856710653         |
| 7.009,166504                         | 0,000916159       | 6,421508214         |
| 7.548,333496                         | 0,002700837       | 20,38682099         |
| 8.087,5                              | 0,006701036       | 54,19462671         |
| 8.626,666992                         | 0,010251932       | 88,44000406         |
| 9.165,833008                         | 0,016100817       | 147,5773957         |
| 9.705,0                              | 0,030575975       | 296,7398353         |
| 10.244,16699                         | 0,077385274       | 792,7476693         |
| 10.783,33301                         | 0,10155202        | 1.095,069245        |
| 11.322,5                             | 0,144803026       | 1.639,532257        |
| 11.861,66699                         | 0,165725418       | 1.965,779725        |
| 12.400,83301                         | 0,239333118       | 2.967,930025        |
| 12.940,0                             | 0,152543082       | 1.973,907484        |
| 13.479,16699                         | 0,009542666       | 128,6271838         |
| 14.018,33301                         | 0,006765728       | 94,84423445         |
| 14.557,5                             | 0,00418142        | 60,87102205         |
| 15.096,66699                         | 0                 | 0                   |
| 15.635,83301                         | 0                 | 0                   |
| 16.175,0                             | 0                 | 0                   |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>11.401,82283</b> |

Figura 11- Imagem A2 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.



Fonte: Software em desenvolvimento.

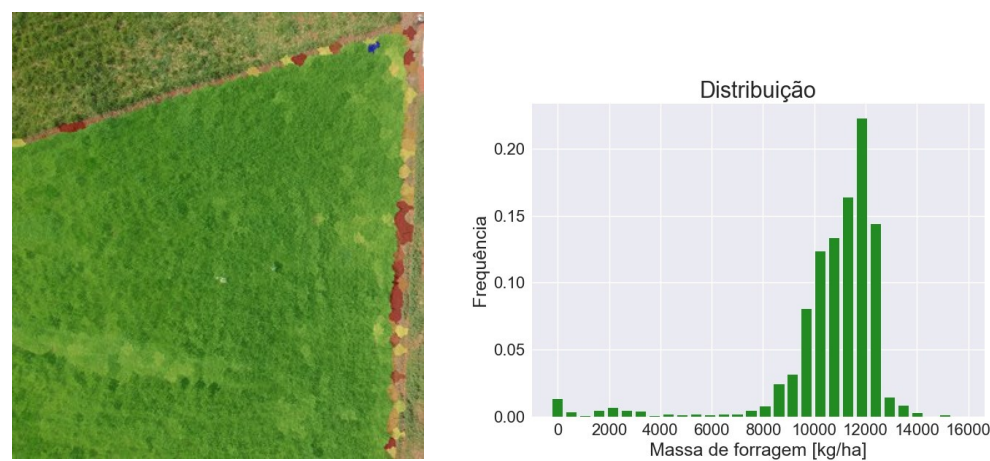
Tabela 5- Dados do histograma da imagem A2.

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência  | Média        |
|------------------------------|-------------|--------------|
| 539,166687                   | 0,010053372 | 5,420443234  |
| 1.078,333374                 | 0,001362196 | 1,468901874  |
| 1.617,5                      | 0,004664681 | 7,545121741  |
| 2.156,666748                 | 0,001867836 | 4,028299104  |
| 2.695,833252                 | 0,003213444 | 8,662909113  |
| 3.235,0                      | 0,004734423 | 15,31585985  |
| 3.774,166748                 | 0,001768638 | 6,675133191  |
| 4.313,333496                 | 0,000487696 | 2,103594294  |
| 4.852,5                      | 0,000490066 | 2,378044606  |
| 5.391,666504                 | 0,000617364 | 3,328623456  |
| 5.930,833496                 | 0,002613682 | 15,50131419  |
| 6.470,0                      | 0,001024314 | 6,627310494  |
| 7.009,166504                 | 0,001416197 | 9,926362281  |
| 7.548,333496                 | 0,003656277 | 27,59880101  |
| 8.087,5                      | 0,00427246  | 34,55352205  |
| 8.626,666992                 | 0,006679279 | 57,61991146  |
| 9.165,833008                 | 0,020033471 | 183,6234455  |
| 9.705,0                      | 0,035417087 | 343,722831   |
| 10.244,16699                 | 0,063662968 | 652,1740789  |
| 10.783,33301                 | 0,11603873  | 1.251,284266 |
| 11.322,5                     | 0,142574335 | 1.614,297907 |
| 11.861,66699                 | 0,19849173  | 2.354,442807 |
| 12.400,83301                 | 0,206574545 | 2.561,69643  |
| 12.940,0                     | 0,146450676 | 1.895,07175  |
| 13.479,16699                 | 0,013610276 | 183,4551869  |
| 14.018,33301                 | 0,003990105 | 55,93461564  |
| 14.557,5                     | 0,00155873  | 22,69120715  |
| 15.096,66699                 | 0,00190897  | 28,81908228  |
| 15.635,83301                 | 0,000766501 | 11,98488081  |

(continua)

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência | Média        |
|------------------------------|------------|--------------|
| 16.175,0                     | 0          | 0            |
| Total                        |            | 11.367,95264 |

Figura 12- Imagem A3 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

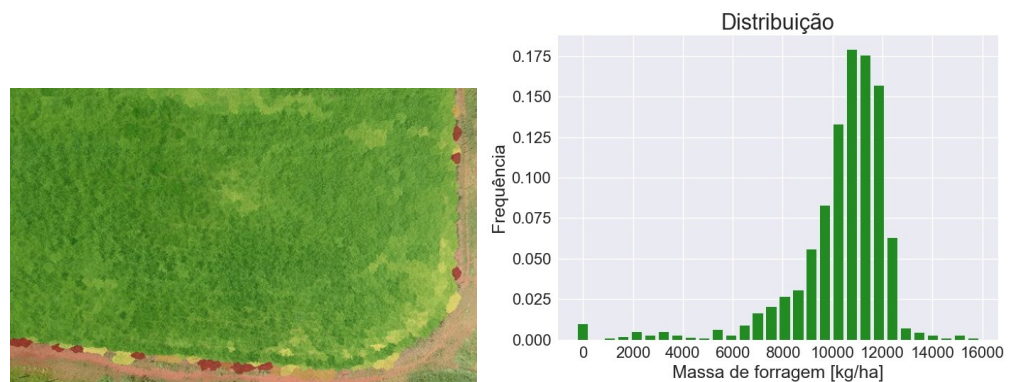
Tabela 6- Dados do histograma da imagem A3.

| Massa de forragem<br>(kg/ha) | Frequência  | Média     |
|------------------------------|-------------|-----------|
| 539,166687                   | 0,012757257 | 6,878288  |
| 1.078,333374                 | 0,003051547 | 3,290584  |
| 1.617,5                      | 0,000441837 | 0,714672  |
| 2.156,666748                 | 0,003894433 | 8,398993  |
| 2.695,833252                 | 0,006517799 | 17,5709   |
| 3.235,0                      | 0,004020297 | 13,00566  |
| 3.774,166748                 | 0,003519816 | 13,28437  |
| 4.313,333496                 | 0,000467395 | 2,01603   |
| 4.852,5                      | 0,001456452 | 7,067435  |
| 5.391,666504                 | 0,001042099 | 5,618648  |
| 5.930,833496                 | 0,001472206 | 8,731408  |
| 6.470,0                      | 0,000777942 | 5,033282  |
| 7.009,166504                 | 0,001623804 | 11,38151  |
| 7.548,333496                 | 0,001424416 | 10,75197  |
| 8.087,5                      | 0,004212508 | 34,06866  |
| 8.626,666992                 | 0,007181248 | 61,95024  |
| 9.165,833008                 | 0,023838399 | 218,4988  |
| 9.705,0                      | 0,031062493 | 301,4615  |
| 10.244,16699                 | 0,0800964   | 820,5209  |
| 10.783,33301                 | 0,123253085 | 1.329,079 |

(continua)

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>     |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| 11.322,5                             | 0,133285743       | 1.509,128        |
| 11.861,66699                         | 0,163464737       | 1.938,964        |
| 12.400,83301                         | 0,222448953       | 2.758,552        |
| 12.940,0                             | 0,143631621       | 1.858,593        |
| 13.479,16699                         | 0,013987181       | 188,5355         |
| 14.018,33301                         | 0,008006118       | 112,2324         |
| 14.557,5                             | 0,002245245       | 32,68516         |
| 15.096,66699                         | 0                 | 0                |
| 15.635,83301                         | 0,00081908        | 12,807           |
| 16.175,0                             | 0                 | 0                |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>11.290,82</b> |

Figura 13- Imagem B1 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

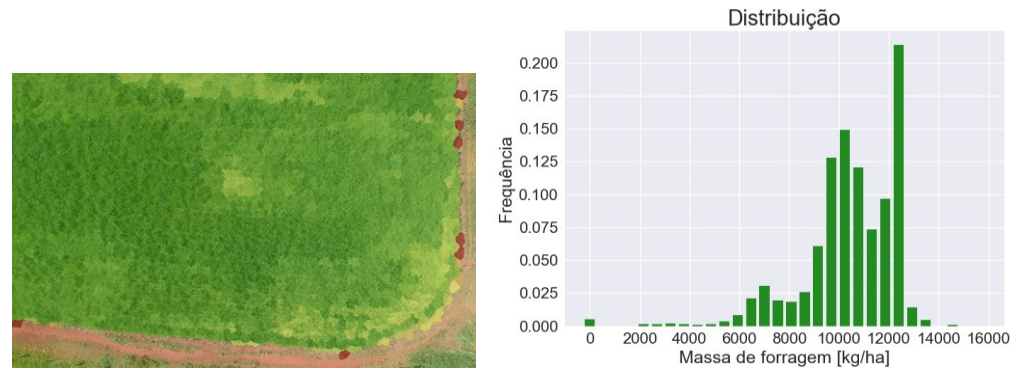
Tabela 7- Dados do histograma da imagem B1.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b> |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| 539,166687                           | 0,009360517       | 5,04687888   |
| 1.078,333374                         | 0                 | 0            |
| 1.617,5                              | 0,0006535         | 1,057036095  |
| 2.156,666748                         | 0,001606749       | 3,465221496  |
| 2.695,833252                         | 0,004531133       | 12,21517924  |
| 3.235,0                              | 0,002623138       | 8,485850522  |
| 3.774,166748                         | 0,004657411       | 17,5778464   |
| 4.313,333496                         | 0,002322558       | 10,0179661   |
| 4.852,5                              | 0,001242032       | 6,026961555  |
| 5.391,666504                         | 0,00052157        | 2,812134039  |
| 5.930,833496                         | 0,006157816       | 36,5209809   |
| 6.470,0                              | 0,002512644       | 16,25680493  |

(continua)

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência  | Média               |
|------------------------------|-------------|---------------------|
| 7.009,166504                 | 0,008493839 | 59,53473247         |
| 7.548,333496                 | 0,016319708 | 123,1865955         |
| 8.087,5                      | 0,020307352 | 164,2357102         |
| 8.626,666992                 | 0,026201789 | 226,0341099         |
| 9.165,833008                 | 0,030238321 | 277,1593965         |
| 9.705,0                      | 0,05553898  | 539,0058015         |
| 10.244,16699                 | 0,082708307 | 847,2777122         |
| 10.783,33301                 | 0,132995274 | 1.434,132323        |
| 11.322,5                     | 0,178840853 | 2.024,925556        |
| 11.861,66699                 | 0,175556241 | 2.082,389672        |
| 12.400,83301                 | 0,156759568 | 1.943,949222        |
| 12.940,0                     | 0,062870204 | 813,5404379         |
| 13.479,16699                 | 0,007011702 | 94,51190132         |
| 14.018,33301                 | 0,004070713 | 57,06460345         |
| 14.557,5                     | 0,002249115 | 32,74148939         |
| 15.096,66699                 | 0,000686066 | 10,35731644         |
| 15.635,83301                 | 0,002364599 | 36,97247428         |
| 16.175,0                     | 0,000598335 | 9,67806863          |
| <b>Total</b>                 |             | <b>10.896,17998</b> |

Figura 14- Imagem B2 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

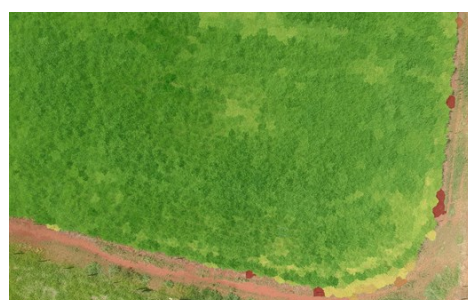
Tabela 8- Dados do histograma da imagem B2.

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência | Média    |
|------------------------------|------------|----------|
| 539,1667                     | 0,005168   | 2,786514 |
| 1078,333                     | 0          | 0        |
| 1617,5                       | 0          | 0        |
| 2156,667                     | 0          | 0        |

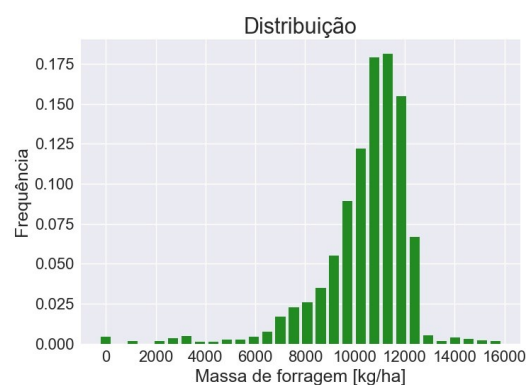
(continua)

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>     |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| 2.695,833252                         | 0,001571          | 4,235884         |
| 3.235,0                              | 0,001275          | 4,123298         |
| 3.774,166748                         | 0,002077          | 7,837418         |
| 4.313,333496                         | 0,00117           | 5,048113         |
| 4.852,5                              | 0,000903          | 4,380533         |
| 5.391,666504                         | 0,001398          | 7,538667         |
| 5.930,833496                         | 0,003604          | 21,3753          |
| 6.470,0                              | 0,008414          | 54,43944         |
| 7.009,166504                         | 0,020777          | 145,6271         |
| 7.548,333496                         | 0,030464          | 229,9538         |
| 8.087,5                              | 0,019105          | 154,5089         |
| 8.626,666992                         | 0,018309          | 157,9469         |
| 9.165,833008                         | 0,025564          | 234,3168         |
| 9.705,0                              | 0,06057           | 587,8356         |
| 10.244,16699                         | 0,127627          | 1.307,437        |
| 10.783,33301                         | 0,149221          | 1.609,095        |
| 11.322,5                             | 0,120204          | 1.361,005        |
| 11.861,66699                         | 0,07314           | 867,5588         |
| 12.400,83301                         | 0,096752          | 1.199,801        |
| 12.940,0                             | 0,213518          | 2.762,922        |
| 13.479,16699                         | 0,013869          | 186,9466         |
| 14.018,33301                         | 0,004722          | 66,19226         |
| 14.557,5                             | 0                 | 0                |
| 15.096,66699                         | 0,000578          | 8,733318         |
| 15.635,83301                         | 0                 | 0                |
| 16.175,0                             | 0                 | 0                |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>10.991,65</b> |

Figura 15- Imagem B3 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.



Fonte: Software em desenvolvimento.

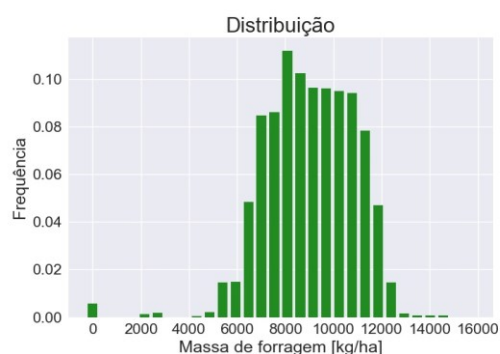
Tabela 9- Dados do histograma da imagem B3.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>        |
|--------------------------------------|-------------------|---------------------|
| 539,166687                           | 0,004339833       | 2,339893592         |
| 1.078,333374                         | 0                 | 0                   |
| 1.617,5                              | 0,001386519       | 2,242695166         |
| 2.156,666748                         | 0                 | 0                   |
| 2.695,833252                         | 0,001485002       | 4,00331812          |
| 3.235,0                              | 0,003211086       | 10,38786445         |
| 3.774,166748                         | 0,004686834       | 17,68889479         |
| 4.313,333496                         | 0,001066286       | 4,599248138         |
| 4.852,5                              | 0,001112388       | 5,397864595         |
| 5.391,666504                         | 0,002515597       | 13,56326139         |
| 5.930,833496                         | 0,002622835       | 15,55559722         |
| 6.470,0                              | 0,004323311       | 27,971822           |
| 7.009,166504                         | 0,007560011       | 52,98937476         |
| 7.548,333496                         | 0,016806104       | 126,8580804         |
| 8.087,5                              | 0,022507193       | 182,0269203         |
| 8.626,666992                         | 0,02577923        | 222,3888348         |
| 9.165,833008                         | 0,034648153       | 317,579187          |
| 9.705,0                              | 0,054977251       | 533,554217          |
| 10.244,16699                         | 0,089417801       | 916,0108879         |
| 10.783,33301                         | 0,121997323       | 1.315,537764        |
| 11.322,5                             | 0,179201772       | 2.029,012059        |
| 11.861,66699                         | 0,181340787       | 2.151,004032        |
| 12.400,83301                         | 0,154858416       | 1.920,373359        |
| 12.940,0                             | 0,066990274       | 866,8541466         |
| 13.479,16699                         | 0,005339856       | 71,97680997         |
| 14.018,33301                         | 0,001372641       | 19,24213738         |
| 14.557,5                             | 0,003841306       | 55,91980597         |
| 15.096,66699                         | 0,002915968       | 44,0214053          |
| 15.635,83301                         | 0,002212716       | 34,5976628          |
| 16.175,0                             | 0,001483514       | 23,99583306         |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>10.987,69298</b> |

Figura 16- Imagem C1 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.



Fonte: Software em desenvolvimento.

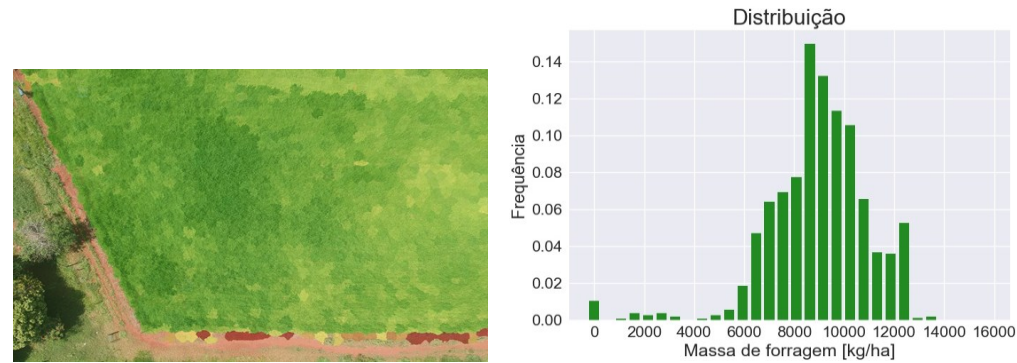
Tabela 10- Dados do histograma da imagem C1.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b> |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| 539,166687                           | 0,005692          | 3,068706     |
| 1.078,333374                         | 0                 | 0            |
| 1.617,5                              | 0                 | 0            |
| 2.156,666748                         | 0                 | 0            |
| 2.695,833252                         | 0,001196          | 3,223747     |
| 3.235,0                              | 0,001667          | 5,393022     |
| 3.774,166748                         | 0                 | 0            |
| 4.313,333496                         | 0                 | 0            |
| 4.852,5                              | 0,000542          | 2,628077     |
| 5.391,666504                         | 0,002061          | 11,11153     |
| 5.930,833496                         | 0,014599          | 86,58308     |
| 6.470,0                              | 0,014901          | 96,41082     |
| 7.009,166504                         | 0,048307          | 338,5934     |
| 7.548,333496                         | 0,084769          | 639,8614     |
| 8.087,5                              | 0,086081          | 696,1827     |
| 8.626,666992                         | 0,111921          | 965,501      |
| 9.165,833008                         | 0,102454          | 939,0806     |
| 9.705,0                              | 0,096383          | 935,3991     |
| 10.244,16699                         | 0,096073          | 984,1911     |
| 10.783,33301                         | 0,095027          | 1.024,711    |
| 11.322,5                             | 0,094328          | 1.068,031    |
| 11.861,66699                         | 0,078519          | 931,3697     |
| 12.400,83301                         | 0,047102          | 584,1075     |
| 12.940,0                             | 0,014585          | 188,7332     |
| 13.479,16699                         | 0,001523          | 20,53538     |
| 14.018,33301                         | 0,000728          | 10,20856     |
| 14.557,5                             | 0,000728          | 10,59584     |
| 15.096,66699                         | 0,000812          | 12,26573     |
| 15.635,83301                         | 0                 | 0            |
| 16.175,0                             | 0                 | 0            |

(continua)

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência | Média     |
|------------------------------|------------|-----------|
| Total                        |            | 9.557,786 |

Figura 17- Imagem C2 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

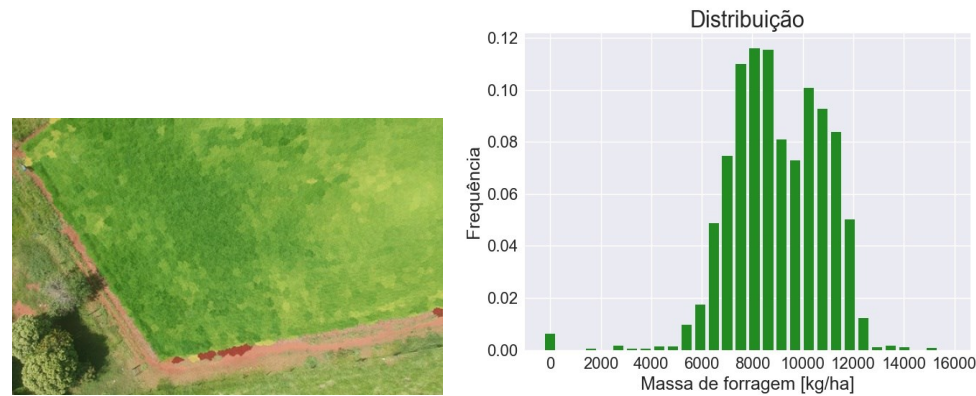
Tabela 11- Dados do histograma da imagem C2.

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência | Média     |
|------------------------------|------------|-----------|
| 539,166687                   | 0,01009    | 5,44      |
| 1.078,333374                 | 0          | 0         |
| 1.617,5                      | 0,00071    | 1,14923   |
| 2.156,666748                 | 0,003484   | 7,514705  |
| 2.695,833252                 | 0,002445   | 6,590599  |
| 3.235,0                      | 0,003448   | 11,15315  |
| 3.774,166748                 | 0,001561   | 5,892682  |
| 4.313,333496                 | 0          | 0         |
| 4.852,5                      | 0,000575   | 2,790486  |
| 5.391,666504                 | 0,002277   | 12,27427  |
| 5.930,833496                 | 0,005459   | 32,37698  |
| 6.470,0                      | 0,018226   | 117,922   |
| 7.009,166504                 | 0,046836   | 328,2801  |
| 7.548,333496                 | 0,064077   | 483,6767  |
| 8.087,5                      | 0,069319   | 560,6143  |
| 8.626,666992                 | 0,07758    | 669,2552  |
| 9.165,833008                 | 0,149763   | 1.372,705 |
| 9.705,0                      | 0,132253   | 1.283,515 |
| 10.244,16699                 | 0,113543   | 1.163,157 |
| 10.783,33301                 | 0,105549   | 1.138,174 |
| 11.322,5                     | 0,06544    | 740,9482  |
| 11.861,66699                 | 0,036598   | 434,1115  |

(continua)

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência | Média            |
|------------------------------|------------|------------------|
| 12.400,83301                 | 0,035746   | 443,2847         |
| 12.940,0                     | 0,052693   | 681,8455         |
| 13.479,16699                 | 0,000789   | 10,63125         |
| 14.018,33301                 | 0,001539   | 21,56732         |
| 14.557,5                     | 0          | 0                |
| 15.096,66699                 | 0          | 0                |
| 15.635,83301                 | 0          | 0                |
| 16.175,0                     | 0          | 0                |
| <b>Total</b>                 |            | <b>9.534,871</b> |

Figura 18- Imagem C3 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

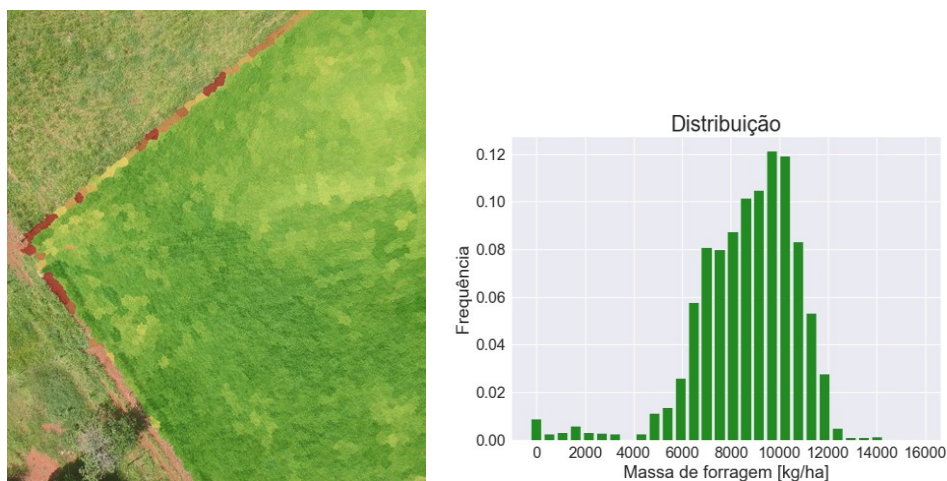
Tabela 12- Dados do histograma da imagem C3.

| Massa de<br>forragem (kg/ha) | Frequência | Média    |
|------------------------------|------------|----------|
| 539,166687                   | 0,006113   | 3,295713 |
| 1.078,333374                 | 0          | 0        |
| 1.617,5                      | 0          | 0        |
| 2.156,666748                 | 0,000519   | 1,118445 |
| 2.695,833252                 | 0          | 0        |
| 3.235,0                      | 0,001579   | 5,108193 |
| 3.774,166748                 | 0,000557   | 2,100512 |
| 4.313,333496                 | 0,000422   | 1,818648 |
| 4.852,5                      | 0,001191   | 5,781084 |
| 5.391,666504                 | 0,001298   | 6,999097 |
| 5.930,833496                 | 0,009581   | 56,82226 |
| 6.470,0                      | 0,017243   | 111,5638 |
| 7.009,166504                 | 0,048721   | 341,4904 |
| 7.548,333496                 | 0,074534   | 562,6079 |

(continua)

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>     |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| 8.087,5                              | 0,109846          | 888,3758         |
| 8.626,666992                         | 0,115909          | 999,9069         |
| 9.165,833008                         | 0,115372          | 1.057,478        |
| 9.705,0                              | 0,080936          | 785,483          |
| 10.244,16699                         | 0,072857          | 746,357          |
| 10.783,33301                         | 0,100622          | 1.085,04         |
| 11.322,5                             | 0,09276           | 1.050,275        |
| 11.861,66699                         | 0,083641          | 992,1189         |
| 12.400,83301                         | 0,050023          | 620,3212         |
| 12.940,0                             | 0,012167          | 157,4352         |
| 13.479,16699                         | 0,000955          | 12,87425         |
| 14.018,33301                         | 0,001463          | 20,51151         |
| 14.557,5                             | 0,000867          | 12,61951         |
| 15.096,66699                         | 0                 | 0                |
| 15.635,83301                         | 0,000828          | 12,94105         |
| 16.175,0                             | 0                 | 0                |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>9.540,444</b> |

Figura 19- Imagem D1 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Fonte: Software em desenvolvimento.

Tabela 13- Dados do histograma da imagem D1.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b> |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| 539,166687                           | 0,008613          | 4,643585     |
| 1.078,333374                         | 0,002128          | 2,294276     |
| 1.617,5                              | 0,00274           | 4,432319     |
| 2.156,666748                         | 0,005525          | 11,91489     |

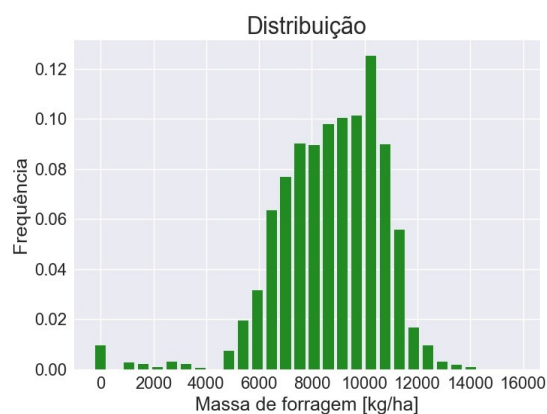
(continua)

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>   |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|
| 2.695,833252                         | 0,002838          | 7,651402       |
| 3.235,0                              | 0,002456          | 7,944979       |
| 3.774,166748                         | 0,002235          | 8,435901       |
| 4.313,333496                         | 0                 | 0              |
| 4.852,5                              | 0,00211           | 10,24012       |
| 5.391,666504                         | 0,010832          | 58,40322       |
| 5.930,833496                         | 0,013442          | 79,72312       |
| 6.470,0                              | 0,02564           | 165,8895       |
| 7.009,166504                         | 0,057469          | 402,8091       |
| 7.548,333496                         | 0,080513          | 607,7385       |
| 8.087,5                              | 0,07955           | 643,3616       |
| 8.626,666992                         | 0,087195          | 752,1984       |
| 9.165,833008                         | 0,101222          | 927,7814       |
| 9.705,0                              | 0,104596          | 1.015,1        |
| 10.244,16699                         | 0,121035          | 1.239,899      |
| 10.783,33301                         | 0,118921          | 1.282,364      |
| 11.322,5                             | 0,083009          | 939,8738       |
| 11.861,66699                         | 0,053072          | 629,5195       |
| 12.400,83301                         | 0,027493          | 340,9391       |
| 12.940,0                             | 0,004676          | 60,5084        |
| 13.479,16699                         | 0,000794          | 10,70881       |
| 14.018,33301                         | 0,000723          | 10,14026       |
| 14.557,5                             | 0,001174          | 17,0843        |
| 15.096,66699                         | 0                 | 0              |
| 15.635,83301                         | 0                 | 0              |
| 16.175,0                             | 0                 | 0              |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>9.241,6</b> |

Figura 20- Imagem D2 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.



Fonte: Software em desenvolvimento.

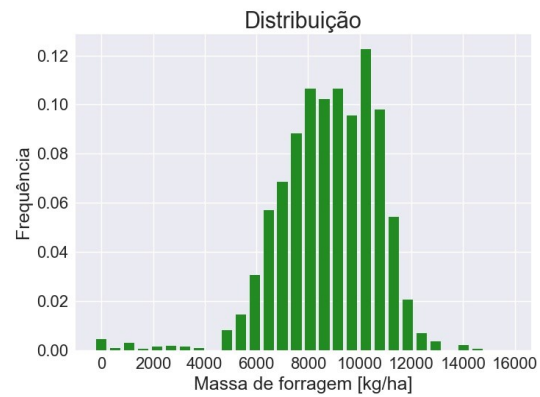
Tabela 14- Dados do histograma da imagem D2.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>     |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| 539,166687                           | 0,009394          | 5,064803         |
| 1.078,333374                         | 0                 | 0                |
| 1.617,5                              | 0,002501          | 4,045241         |
| 2.156,666748                         | 0,001974          | 4,257466         |
| 2.695,833252                         | 0,000734          | 1,980052         |
| 3.235,0                              | 0,002795          | 9,041931         |
| 3.774,166748                         | 0,00192           | 7,244808         |
| 4.313,333496                         | 0,000468          | 2,018197         |
| 4.852,5                              | 0                 | 0                |
| 5.391,666504                         | 0,00737           | 39,73421         |
| 5.930,833496                         | 0,01948           | 115,5337         |
| 6.470,0                              | 0,031556          | 204,1656         |
| 7.009,166504                         | 0,063552          | 445,4453         |
| 7.548,333496                         | 0,076715          | 579,0677         |
| 8.087,5                              | 0,090336          | 730,5949         |
| 8.626,666992                         | 0,08957           | 772,6935         |
| 9.165,833008                         | 0,09783           | 896,6917         |
| 9.705,0                              | 0,100294          | 973,3519         |
| 10.244,16699                         | 0,101514          | 1.039,931        |
| 10.783,33301                         | 0,125225          | 1.350,346        |
| 11.322,5                             | 0,089818          | 1.016,965        |
| 11.861,66699                         | 0,055672          | 660,3604         |
| 12.400,83301                         | 0,016603          | 205,8906         |
| 12.940,0                             | 0,00932           | 120,6055         |
| 13.479,16699                         | 0,002907          | 39,18245         |
| 14.018,33301                         | 0,001748          | 24,50282         |
| 14.557,5                             | 0,000704          | 10,25307         |
| 15.096,66699                         | 0                 | 0                |
| 15.635,83301                         | 0                 | 0                |
| 16.175,0                             | 0                 | 0                |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>9.258,967</b> |

Figura 21- Imagem D3 analisada no software com histograma correspondente.



Fonte: Arquivo pessoal.



Fonte: Software em desenvolvimento.

Tabela 15- Dados do histograma da imagem D3.

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b> |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| 539,166687                           | 0,004464          | 2,407096     |
| 1.078,333374                         | 0,000728          | 0,784687     |
| 1.617,5                              | 0,003032          | 4,90444      |
| 2.156,666748                         | 0,000567          | 1,222057     |
| 2.695,833252                         | 0,001381          | 3,722234     |
| 3.235,0                              | 0,00167           | 5,40256      |
| 3.774,166748                         | 0,001298          | 4,897309     |
| 4.313,333496                         | 0,000668          | 2,883241     |
| 4.852,5                              | 0                 | 0            |
| 5.391,666504                         | 0,008112          | 43,73894     |
| 5.930,833496                         | 0,014416          | 85,49899     |
| 6.470,0                              | 0,030671          | 198,4421     |
| 7.009,166504                         | 0,056927          | 399,0134     |
| 7.548,333496                         | 0,068441          | 516,615      |
| 8.087,5                              | 0,08836           | 714,6118     |
| 8.626,666992                         | 0,106484          | 918,5985     |
| 9.165,833008                         | 0,102385          | 938,4443     |
| 9.705,0                              | 0,106552          | 1.034,091    |
| 10.244,16699                         | 0,095547          | 978,8045     |
| 10.783,33301                         | 0,122559          | 1.321,593    |
| 11.322,5                             | 0,097871          | 1.108,15     |
| 11.861,66699                         | 0,054273          | 643,7736     |
| 12.400,83301                         | 0,020607          | 255,5449     |
| 12.940,0                             | 0,006761          | 87,48404     |
| 13.479,16699                         | 0,003646          | 49,1479      |
| 14.018,33301                         | 0                 | 0            |
| 14.557,5                             | 0,00203           | 29,54881     |

(continua)

| <b>Massa de<br/>forragem (kg/ha)</b> | <b>Frequência</b> | <b>Média</b>     |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| 15.096,66699                         | 0,000548          | 8,278179         |
| 15.635,83301                         | 0                 | 0                |
| 16.175,0                             | 0                 | 0                |
| <b>Total</b>                         |                   | <b>9.357,602</b> |

Após o cálculo da média de massa de forragem de cada imagem, foi possível observar que as imagens das áreas C e D, tendo como base o desvio padrão e a média calculados na tabela 3, estiveram abaixo do valor mínimo determinado. Foi feita uma análise da precisão da estimativa por foto da mesma região. Assim, comparou-se a estimativa das médias para as 3 fotos, como mostra a tabela 17.

Tabela 16- Análise individual das médias de cada imagem.

| <b>Analisando de 1 em 1</b> | <b>Valor da média</b> |
|-----------------------------|-----------------------|
| <b>A1</b>                   | 11.401,82             |
| <b>A2</b>                   | 11.367,95             |
| <b>A3</b>                   | 11.290,82             |
| <b>B1</b>                   | 10.896,18             |
| <b>B2</b>                   | 10.991,65             |
| <b>B3</b>                   | 10.987,69             |
| <b>C1</b>                   | 9.557,786             |
| <b>C2</b>                   | 9.534,871             |
| <b>C3</b>                   | 9.540,444             |
| <b>D1</b>                   | 9.241,6               |
| <b>D2</b>                   | 9.258,967             |
| <b>D3</b>                   | 9.357,602             |

Tabela 17- Análise das médias das 3 imagens do mesmo grupo, valores em kg/ha.

| <b>Analisando de 3 em 3</b> |           |           | <b>Valor da média</b> | <b>(A, B, C, D)<br/>1 - média</b> | <b>(A, B, C, D)<br/>2 - média</b> | <b>(A, B, C, D)<br/>3 - média</b> | <b>Diferença<br/>absoluta média</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A1</b>                   | <b>A2</b> | <b>A3</b> | 11.353,53             | 48                                | 14                                | - 62                              | 42                                  |
| <b>B1</b>                   | <b>B2</b> | <b>B3</b> | 10.958,51             | - 62                              | 33                                | 29                                | 42                                  |
| <b>C1</b>                   | <b>C2</b> | <b>C3</b> | 9.544,367             | 13                                | - 10                              | - 4                               | 9                                   |
| <b>D1</b>                   | <b>D2</b> | <b>D3</b> | 9.286,057             | - 44                              | - 27                              | 72                                | 48                                  |

Vê-se que as medidas das imagens são consistentes entre elas, mantendo um erro de apenas 50 kg/ha da média. Nesse ponto, as regiões analisadas C e D ainda apresentam a média menor do que a estimada pela técnica manual. Essa

diferença pode dar-se pela análise de uma região menor do que todo o piquete. De fato, as regiões analisadas representavam apenas 30% da área total. Assim, alguma variação dentro do piquete pode estar sendo revelada. Uma análise qualitativa das imagens mostra que as regiões C e D parecem mesmo ter menos massa do que as regiões A e B.

Na tabela 19, ao fazer a média com os valores médios de cada grupo, o resultado encontrado ficou entre os valores do desvio padrão. Fazendo nova análise, com o intuito de aumentar a área de cobertura das estimativas, combinando os dados de todos os grupos de 2 em 2 e de 3 em 3, todas as médias obtidas respeitaram o intervalo esperado, mesmo com os valores abaixo do determinado dos grupos C e D (tabelas 18 e 19).

Tabela 18- Análise das médias de 2 imagens de grupos diferentes.

| <b>Analisando de 2 em 2</b> |           | <b>Valor da média</b> |
|-----------------------------|-----------|-----------------------|
| <b>A1</b>                   | <b>B1</b> | 11.149,0              |
| <b>A1</b>                   | <b>C1</b> | 10.479,8              |
| <b>A1</b>                   | <b>D1</b> | 10.321,71             |
| <b>A1</b>                   | <b>B2</b> | 11.196,73             |
| <b>A1</b>                   | <b>C2</b> | 10.468,35             |
| <b>A1</b>                   | <b>D2</b> | 10.330,4              |
| <b>A1</b>                   | <b>B3</b> | 11.194,76             |
| <b>A1</b>                   | <b>C3</b> | 10.471,13             |
| <b>A1</b>                   | <b>D3</b> | 10.379,71             |
| <b>A2</b>                   | <b>B1</b> | 11.132,07             |
| <b>A2</b>                   | <b>C1</b> | 10.462,87             |
| <b>A2</b>                   | <b>D1</b> | 10.304,78             |
| <b>A2</b>                   | <b>B2</b> | 11.179,8              |
| <b>A2</b>                   | <b>C2</b> | 10.451,41             |
| <b>A2</b>                   | <b>D2</b> | 10.313,46             |
| <b>A2</b>                   | <b>B3</b> | 11.177,82             |
| <b>A2</b>                   | <b>C3</b> | 10.454,2              |
| <b>A2</b>                   | <b>D3</b> | 10.362,78             |
| <b>A3</b>                   | <b>B1</b> | 11.093,5              |
| <b>A3</b>                   | <b>C1</b> | 10.424,3              |
| <b>A3</b>                   | <b>D1</b> | 10.266,21             |
| <b>A3</b>                   | <b>B2</b> | 11.141,23             |
| <b>A3</b>                   | <b>C2</b> | 10.412,85             |
| <b>A3</b>                   | <b>D2</b> | 10.274,89             |
| <b>A3</b>                   | <b>B3</b> | 11.139,26             |
| <b>A3</b>                   | <b>C3</b> | 10.415,63             |

| (continua)           |    |                |
|----------------------|----|----------------|
| Analisando de 2 em 2 |    | Valor da média |
| A3                   | D3 | 10.324,21      |

Tabela 19- Análise das médias de 3 imagens de grupos diferentes.

| Analisando de 3 em 3 |    |    | Valor da média |
|----------------------|----|----|----------------|
| A1                   | B1 | C1 | 10.618,6       |
| A1                   | B1 | C2 | 10.610,96      |
| A1                   | B1 | C3 | 10.612,82      |
| A1                   | B1 | D1 | 10.513,2       |
| A1                   | B1 | D2 | 10.518,99      |
| A1                   | B1 | D3 | 10.551,87      |
| A1                   | B2 | C1 | 10.650,42      |
| A1                   | B2 | C2 | 10.642,78      |
| A1                   | B2 | C3 | 10.644,64      |
| A1                   | B2 | D1 | 10.545,02      |
| A1                   | B2 | D2 | 10.550,81      |
| A1                   | B2 | D3 | 10.583,69      |
| A1                   | B2 | C1 | 10.650,42      |
| A1                   | B2 | C2 | 10.642,78      |
| A1                   | B2 | C3 | 10.644,64      |
| A1                   | B2 | D1 | 10.545,02      |
| A1                   | B2 | D2 | 10.550,81      |
| A1                   | B2 | D3 | 10.583,69      |
| A1                   | B3 | C2 | 10.641,46      |
| A1                   | B3 | C3 | 10.643,32      |
| A1                   | B3 | D1 | 10.543,71      |
| A1                   | B3 | D2 | 10.549,49      |
| A1                   | B3 | D3 | 10.582,37      |
| A1                   | B3 | C1 | 10.649,1       |
| A1                   | B3 | C2 | 10.641,46      |
| A1                   | B3 | C3 | 10.643,32      |
| A1                   | B3 | D1 | 10.543,71      |
| A1                   | B3 | D2 | 10.549,49      |
| A1                   | B3 | D3 | 10.582,37      |
| A2                   | B1 | C1 | 10.607,31      |
| A2                   | B1 | C2 | 10.599,67      |
| A2                   | B1 | C3 | 10.601,53      |
| A2                   | B1 | D1 | 10.501,91      |
| A2                   | B1 | D2 | 10.507,7       |
| A2                   | B1 | D3 | 10.540,58      |
| A2                   | B2 | C1 | 10.639,13      |
| A2                   | B2 | C2 | 10.631,49      |
| A2                   | B2 | C3 | 10.633,35      |
| A2                   | B2 | D1 | 10.533,73      |

|                      |    |    | (continua)     |
|----------------------|----|----|----------------|
| Analisando de 3 em 3 |    |    | Valor da média |
| A2                   | B2 | D2 | 10.539,52      |
| A2                   | B2 | D3 | 10.572,4       |
| A2                   | B2 | C1 | 10.639,13      |
| A2                   | B2 | C2 | 10.631,49      |
| A2                   | B2 | C3 | 10.633,35      |
| A2                   | B2 | D1 | 10.533,73      |
| A2                   | B2 | D2 | 10.539,52      |
| A2                   | B2 | D3 | 10.572,4       |
| A2                   | B3 | C2 | 10.630,17      |
| A2                   | B3 | C3 | 10.632,03      |
| A2                   | B3 | D1 | 10.532,42      |
| A2                   | B3 | D2 | 10.538,2       |
| A2                   | B3 | D3 | 10.571,08      |
| A2                   | B3 | C1 | 10.637,81      |
| A2                   | B3 | C2 | 10.630,17      |
| A2                   | B3 | C3 | 10.632,03      |
| A2                   | B3 | D1 | 10.532,42      |
| A2                   | B3 | D2 | 10.538,2       |
| A2                   | B3 | D3 | 10.571,08      |
| A3                   | B1 | C1 | 10.581,6       |
| A3                   | B1 | C2 | 10.573,96      |
| A3                   | B1 | C3 | 10.575,81      |
| A3                   | B1 | D1 | 10.476,2       |
| A3                   | B1 | D2 | 10.481,99      |
| A3                   | B1 | D3 | 10.514,87      |
| A3                   | B2 | C1 | 10.613,42      |
| A3                   | B2 | C2 | 10.605,78      |
| A3                   | B2 | C3 | 10.607,64      |
| A3                   | B2 | D1 | 10.508,02      |
| A3                   | B2 | D2 | 10.513,81      |
| A3                   | B2 | D3 | 10.546,69      |
| A3                   | B2 | C1 | 10.613,42      |
| A3                   | B2 | C2 | 10.605,78      |
| A3                   | B2 | C3 | 10.607,64      |
| A3                   | B2 | D1 | 10.508,02      |
| A3                   | B2 | D2 | 10.513,81      |
| A3                   | B2 | D3 | 10.546,69      |
| A3                   | B3 | C2 | 10.604,46      |
| A3                   | B3 | C3 | 10.606,32      |
| A3                   | B3 | D1 | 10.506,7       |
| A3                   | B3 | D2 | 10.512,49      |
| A3                   | B3 | D3 | 10.545,37      |
| A3                   | B3 | C1 | 10.612,1       |
| A3                   | B3 | C2 | 10.604,46      |

|                      |    |    | (continua)     |
|----------------------|----|----|----------------|
| Analisando de 3 em 3 |    |    | Valor da média |
| A3                   | B3 | C3 | 10.606,32      |
| A3                   | B3 | D1 | 10.506,7       |
| A3                   | B3 | D2 | 10.512,49      |
| A3                   | B3 | D3 | 10.545,37      |

Diante disso, todos os valores de média puderam ser correlacionados ao definido por meio de coleta e processamento manual da massa de forragem.

## 5. CONCLUSÃO

Com base em todos os dados apresentados, foi possível concluir que uma única foto não é suficiente para estimar a massa de forragem de toda a área (0,5 ha). Dada a dispersão do piquete, a análise de 1/3 da área não é representativa, já que as imagens C1, C2, C3, D1, D2 e D3 tem, em média, cada uma, 0,17 ha, que corresponde a 34% (aproximadamente 1/3) da área total, e todas apresentaram valores médios de massa de forragem inferiores à variação do desvio padrão calculado sobre os valores obtidos pela coleta manual. Porém, ao serem correlacionados com os valores das demais imagens, a estimativa de massa de forragem se assemelha à média encontrada pela coleta manual, e fica no intervalo do desvio padrão. Já a análise no software de duas imagens, indicou ser representativa. É possível inferir que as fotos C e D são de menor altura e cobertura de solo, mesmo a ferramenta não afirmando isso. Não foi feito teste estatístico pelo fato de os dados não serem baseados em distribuição normal, sendo usados apenas desvio padrão e média para analisá-los, parâmetros que são adequados para avaliar a curva. Reduzir o intervalo entre os valores estabelecidos de massa de forragem pode aumentar a resolução da resposta. Ao dividir a classe, diminui o erro de média dentro de cada intervalo. A mudança de classe atual ocorre, em média, com 270 kg/ha, o que corresponde a 270 Kg de massa de forragem/ha, quantidade suficiente para alimentar 20 animais por um dia, com peso de 450 kg (1 unidade animal) cada, ingerindo 3% do peso vivo ao dia, o que indica que o software pode ser aprimorado para diminuir as perdas.

## 6. REFERÊNCIAS

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. Agro 4.0 - rumo à agricultura digital. In: MAGNONI JÚNIOR, L.; STEVENS, D.; SILVA, W. T. L. da; VALE, J. M. F. do; PURINI, S. R. de M.; MAGNONI, M. da G. M.; SEBASTIÃO, E.; BRANCO JÚNIOR, G.; ADORNO FILHO, E. F.; FIGUEIREDO, W. dos S.; SEBASTIÃO, I. (Org.). JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017. p. 28-35. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166203/1/PL-Agro4.0-JC-na-Escola.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2021.

ZAPAROLLI, D. Agricultura 4.0. Revista Pesquisa Fapesp, ed. 287, jan. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/agricultura-4-0/> . Acesso em 28 fev. 2021.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; EVANGELISTA, S. R. M. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: Livro virtual Agricultura Digital, 2020, cap. 1. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217698/1/LV-Agricultura-digital-2020-cap1.pdf>. Acesso em 28 fev. 2021.

KITONSA, H.; KRUGLIKOV, S. V. Significance of drone technology for achievement of the United Nations sustainable development goals. R-Economy, 4(3), p. 115–120, 2018. <https://doi.org/10.15826/recon.2018.4.3.016>

DANTAS, A.; DA SILVA, L. C. R.; DE CARVALHO, M. N.; FILEMON, O. G.; CAMARGOS, A. S. Aplicabilidade do drone na pecuária de precisão. In: SIMPOSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIO, 2017, Botucatu. Anais IX Sintagro, 2017.

FONSECA, C. K. L. Uso de drone para estimativa de biomassa em áreas de caatinga do Estado de Pernambuco. 2020. 64 f. Tese (Mestrado em Tecnologias energéticas e nucleares) – Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

DE OLIVEIRA, A. J.; DA SILVA, G. F.; DA SILVA, G. R.; DOS SANTOS, A. A. C.; CALDEIRA, D. S. A.; VILARINHO, M. K. C.; BARELLI, M. A. A.; DE OLIVEIRA, T. C.

Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. *Brazilian Journal of Technology*, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, sep. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-010>

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC. 2017. Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones#:~:text=O%20Regulamento%20Brasileiro%20de%20Avia%C3%A7%C3%A3o,Nacional%20de%20Telecomunica%C3%A7%C3%B5es%20\(ANATEL\).&text=Para%20operar%20um%20aeromodelo%2C%20as%20normas%20da%20ANAC%20s%C3%A3o%20bem%20simples!](https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones#:~:text=O%20Regulamento%20Brasileiro%20de%20Avia%C3%A7%C3%A3o,Nacional%20de%20Telecomunica%C3%A7%C3%B5es%20(ANATEL).&text=Para%20operar%20um%20aeromodelo%2C%20as%20normas%20da%20ANAC%20s%C3%A3o%20bem%20simples!). Acesso em 28 fev. 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40> Acesso em 29 out. 21.

LINHARES, M. M. de A. Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT. 2016. 121 f. Tese (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

RIBATSKI, E. de O.; DOS SANTOS, F. S.; NETO, F. N. Revisão sobre utilizações de RPAs no cenário agrícola. *Brazilian Journal of Technology*, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 313-333, oct./dec. 2018.

BATISTOTI, J.; JUNIOR, J. M.; ÍTAVO, L.; MATSUBARA, E.; GOMES, E.; OLIVEIRA, B.; SOUZA, M.; SIQUEIRA, H.; FILHO, G. S.; AKIYAMA, T.; GONÇALVES, W.; LIESENBERG, V.; LI, J.; DIAS, A. Estimating Pasture Biomass and Canopy Height in Brazilian Savanna Using UAV Photogrammetry. *Remote Sensing*. 2019, 11, 2447. (Technical Note). Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/20/2447> >. Acesso em 12 mar. 2021. <https://doi.org/10.3390/rs11202447>

BAYMA-SILVA, G.; GREGO, C. R.; KOENIGKAN, L.V.; NOGUEIRA, S. F.; PEZZOPANE, J. R. M.; DOS SANTOS, R. C.; SANTOS, P. M.; SANTOS, T. T.; TAKEMURA, C. M. Protocolo de campo para investigação, calibração e validação de métodos para estimativa de massa de forragem baseados em sensoriamento remoto orbital e proximal. Campinas, EMBRAPA, 2019. 31 p. (Comunicado Técnico, 133).

WANG, D.; XIN, X.; SHAO, Q.; BROLLY, M.; ZHU, Z. Modeling Aboveground Biomass in Hulunber Grassland Ecosystem by Using Unmanned Aerial Vehicle Discrete Lidar. *Sensors* 2017, 17, 180. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/1/180>. Acesso em 12 mar. 2021. <https://doi.org/10.3390/s17010180>