

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**TÁLLYSON FERNANDO DA FONSECA**

**DETERMINAÇÃO DA ALTURA DE PASTAGEM POR MEIO DE PLATAFORMA  
ROBÓTICA REMOTAMENTE CONTROLADA**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2023**

**TÁLLYSON FERNANDO DA FONSECA**

**DETERMINAÇÃO DA ALTURA DE PASTAGEM POR MEIO DE PLATAFORMA  
ROBÓTICA REMOTAMENTE CONTROLADA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientador: André Luiz de Freitas Coelho

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2023**


**TÁLLYSON FERNANDO DA FONSECA**

**DETERMINAÇÃO DA ALTURA DE PASTAGEM POR MEIO DE PLATAFORMA  
ROBÓTICA REMOTAMENTE CONTROLADA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

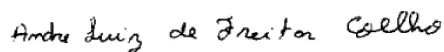
APROVADO: 13 de dezembro de 2023.

Assentimento:



---

Tallyson Fernando da Fonseca  
Autor



---

André Luiz de Freitas Coelho  
Orientador

*“A maior barreira para o sucesso muitas vezes está em nossa mente. Acredite em si mesmo e quebre limites.”*

*Bruce Lee*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e Nossa Senhora, que me concederam saúde, força e sabedoria nos momentos mais difíceis de minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Celina Aparecida da Fonseca e Paulo Celso da Fonseca, que me apoiaram em todas as minhas decisões, creditando confiança e incentivo. Além disso, agradeço por toda educação, amor e carinho que me deram nessa etapa de minha vida, encorajando-me a superar todos os desafios e a seguir os meus sonhos.

A minha irmã Dayane Helena da Fonseca, que sempre esteve presente em minha vida, compartilhando momentos de alegrias e de dificuldades nessa caminhada de universidade.

Aos meus amigos de Ervália, Rafael, Lucas, Otávio, Bruno e Luiz Eduardo, que me acompanharam nesta jornada de estudos desde o ensino fundamental. Vocês foram essenciais, servindo como ponto de apoio e dando ânimo de seguir sempre em frente.

Aos meus amigos de curso, Giovanna, Silas, Felipe, Jeremias, Marcus, Gabriela, Jocássia, Jéssica, Neuller e Jonas, por toda ajuda e apoio nessa caminhada acadêmica, deixando os momentos mais divertidos e animados, apesar das adversidades.

Ao meu orientador André Luiz de Freitas Coelho, pela dedicação e empenho de me ajudar em todas as etapas deste trabalho, até mesmo em finais de semana. Agradeço a amizade, oportunidade e por tornar esse sonho em realidade.

Aos meus amigos, Jeremias e Karolaine, pela enorme colaboração e ajuda na coleta dos dados deste trabalho. Vocês foram fundamentais nessa pesquisa e fico muito grato pela disponibilidade, confiança e dedicação.

Ao Programa de Educação Tutorial em Engenharia Agrícola e Ambiental (PET.EAA), grupo KPS agropecuária e o Núcleo Agrícola de Automação, Controle, Sistemas Embarcados, Instrumentação e Robótica (NAACSIR) por todos os ensinamentos e amizades, contribuindo na formação pessoal e acadêmica.

## RESUMO

FONSECA, Tállyson Fernando da, Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2023. **Determinação da altura de pastagem por meio de plataforma robótica remotamente controlada.** Orientador: André Luiz de Freitas Coelho.

A pecuária é um dos setores pilares da economia brasileira, trazendo vários benefícios para a sociedade, seja renda para os trabalhadores, seja na saúde da população. Dentre os tipos de condução da bovinocultura, os sistemas extensivo e semi-intensivo são os mais praticados no país devido ao baixo custo de implantação e operação. Contudo, para que a alimentação não interfira na produtividade dos animais, a pastagem deve atingir uma determinada altura, de modo que baixas alturas podem acarretar pequenos ganhos de massa dos bovinos e baixa produção de leite. Diante disso, existem várias formas de monitorar a altura das plantas, como os métodos manuais que utilizam réguas, trenas e outros equipamentos que demandam um maior tempo de coleta de dados e uma maior mão de obra. Por outro lado, existem métodos automáticos, como o uso de sensores em veículos autônomos, que aumentam a praticidade de conseguir essas informações. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um sistema acoplado em uma plataforma robótica remotamente controlada para realizar a medição da altura de plantas forrageiras. Foram utilizados dois sensores ultrassônicos, de modelo AJ-SR04M, que determinavam os valores da altura da forragem. A partir da calibração dos sensores ultrassônicos, observou-se que eles apresentaram pequenos desvios constantes da altura de referência observada utilizando uma escala graduada. No teste de aferição do campo de visão, o sensor AJ-SR04M apresentou um ângulo de detecção de 12,5° a 1,25 m de altura, sendo menor do que o valor anunciado pelas lojas virtuais que vendem tal sensor. Analisando os dados de altura de forragem, obtido em área de *Brachiaria* de 0,38 ha, verificou-se, pela análise visual do mapa de interpolação da altura da pastagem, regiões em comum entre os dados dos sensores e pela escala graduada, como a região em que a forragem foi removida. Porém, ao comparar a altura obtida pelo sensor no mesmo ponto que em a medição foi obtida com escala graduada, observou-se que as alturas determinadas com os sensores ultrassônicos tinham pouca relação (Pearson = 0,343) com as medidas utilizando o método manual. O sensor 2, instalado no lado direito da plataforma, teve uma maior correlação com o método manual do que o sensor 1, instalado no lado esquerdo. Isso se deve ao fato de que o sensor 2 deslocou-se próximo das áreas de coletas feitas com uma escala graduada.

**Palavras-chave:** Sensor ultrassônico. Sensoriamento proximal. Agricultura de precisão.

## ABSTRACT

FONSECA, Tallyson Fernando da, Universidade Federal de Vicosa, December 2023. **Determination of pasture height using a remotely controlled robot platform.** Adviser: André Luiz de Freitas Coelho.

Livestock farming is one of the cornerstone sectors of the Brazilian economy, bringing various benefits to society, including income for workers and improvements in public health. Among the cattle farming management systems, extensive and semi-intensive systems are the most widely practiced in the country due to their low implementation and operational costs. However, to ensure that feed does not affect the productivity of animals, the pasture must reach a certain height, as low heights can lead to small gains in cattle mass and low milk production. In this context, there are many ways to monitor plant height, including manual methods using rulers, measuring tapes, and other equipment that require more data collection time and labor. On the other hand, there are automatic methods, such as using sensors on autonomous vehicles, which increase the practicality of obtaining this information. In this work, the aim was to develop a system coupled to a remotely controlled robotic platform for measuring the height of forage plants. Two ultrasonic sensors, model AJ-SR04M, were used to determine forage height values. After calibrating the ultrasonic sensors, small constant deviations from the observed reference height were noted using a graduated scale. In the field of view test, the AJ-SR04M sensor showed a detection angle of  $12.5^\circ$  at a height of 1.25 m, which was smaller than the value advertised by online stores selling the sensor. Analyzing the forage height data obtained in a 0.38 ha Brachiaria area, common regions were identified between sensor data and graduated scale data through visual analysis of the pasture height interpolation map. However, when comparing the height obtained by the sensor at the same point where the measurement was taken with the graduated scale, it was observed that the heights determined by the ultrasonic sensors had low correlation (Pearson = 0,343) with measurements using the manual method. Sensor 2, installed on the right side of the platform, had a higher correlation with the manual method than sensor 1, installed on the left side. This is attributed to the fact that sensor 2 moved closer to the collection areas made with a graduated scale.

**Keywords:** Ultrasonic sensor. Proximal sensing. Precision agriculture.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 A plataforma robótica .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Sensores ultrassônicos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Calibração dos sensores ultrassônicos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.1 Ângulo do campo de visão dos sensores ultrassônicos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.2 Calibração da distância informada pelos sensores ultrassônicos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Precisão da plataforma robótica na determinação da altura de forragens.....</b>	<b>13</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Determinação do ângulo do campo de visão dos sensores ultrassônicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Calibração dos sensores ultrassônicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3 Precisão da plataforma robótica na determinação da altura de forragem .....</b>	<b>16</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>22</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os setores do agronegócio brasileiro, a pecuária tem significativa importância, correspondendo cerca de 31% do produto interno bruto (MENEZ et al., 2020). Além de proporcionar benefícios sociais como a geração de emprego e renda ao longo de sua cadeia produtiva, ela é fundamental para a produção de alimentos para a população mundial. A pecuária de corte produz proteína de origem animal enquanto a pecuária leiteira produz o leite. Esse último é um importante alimento humano visto seu alto valor nutritivo, sendo fonte de vitaminas e minerais.

A bovinocultura de corte ou de leite pode ser conduzida de forma extensiva, semi-intensiva ou intensiva. O sistema mais utilizado no Brasil é o extensivo devido ao baixo custo de implantação e manutenção, e consiste na distribuição espacial dos animais em uma área de pastagem para que eles se alimentem (INÁCIO et al., 2018). No sistema intensivo, os animais são confinados em uma área reduzida e sua alimentação é composta por uma mistura de forragens e suplementos proteicos, fornecidos aos animais. No sistema intensivo é possível maior quantidade de animais por área ocupada. A condução semi-intensiva é uma combinação dos dois sistemas, em que os animais podem ser criados dispersos em uma área de pastagem e sendo confinados em épocas mais secas do ano (CEZAR et al., 2005; INÁCIO et al., 2018).

Na criação extensiva e semi-intensiva, a qualidade e quantidade de forragem influenciam na produtividade dos animais, seja no ganho de massa, que irá influenciar na produção de carne, ou na produção de leite. Um parâmetro que auxilia na avaliação tanto da qualidade quanto da quantidade de forragem é a altura das plantas. Áreas com forragens de altura reduzida podem indicar mau desenvolvimento da forragem, devido à compactação do solo, deficiência nutricional, deficiência hídrica, ataque de pragas e doenças, por excesso de animais ou excesso de permanência dos animais quando é adotado a rotação em piquetes. Inclusive, a altura da forragem pode ser adotada no manejo dos animais como um indicador do momento para a rotação nos piquetes (JOCHIMS; SILVA; PORTES, 2018).

O conhecimento da altura de plantas forrageiras é de suma importância para realizar o manejo dos animais nas pastagens, de modo que a partir deste índice é possível controlar a entrada dos animais, evitar o excesso de bovinos na área, interferindo no crescimento da vegetação, além de desencadear problemas ambientais como a erosão hídrica. Contudo, as medições manuais, como a escala graduada e o prato ascendente (*Rising Plate Meter*) apresentam baixo rendimento, tornando-a morosa e com custo elevado (GEBREMEDHIN et al., 2019). Devido a isso vêm surgindo tecnologias para a aquisição automática de dados. O

objetivo da aquisição de dados para tomada de decisão quanto ao manejo é aumentar a eficiência da agricultura, aumentando a produtividade, reduzindo os custos de produção ou reduzindo necessidade de mão-de-obra a partir da mecanização e automatização dos processos (MASSRUHÁ et al., 2020).

Nesse sentido, pesquisas vêm propondo determinação de parâmetros quantitativos e qualitativos das plantas, incluindo forragem, de forma autônoma com o uso de sensores ultrassônico, Lidar, Laser e câmeras acopladas em VANT's, satélites ou plataformas terrestres (BARNETSON et al., 2020; GEBREMEDHIN et al., 2019; MONTEIRO et al., 2021; PAULUS et al., 2014; REIS et al, 2020; RUEDA-AYLA et al., 2019). Nesse contexto, objetivou-se desenvolver um sistema acoplado em uma plataforma robótica remotamente controlada para realizar a medição da altura de plantas forrageiras. Especificamente, realizou-se a calibração dos sensores ultrassônicos de baixo custo, obteve-se o ângulo do campo de visão e comparou-se a precisão da medição de altura de pastagem utilizando a plataforma robótica com o método manual.

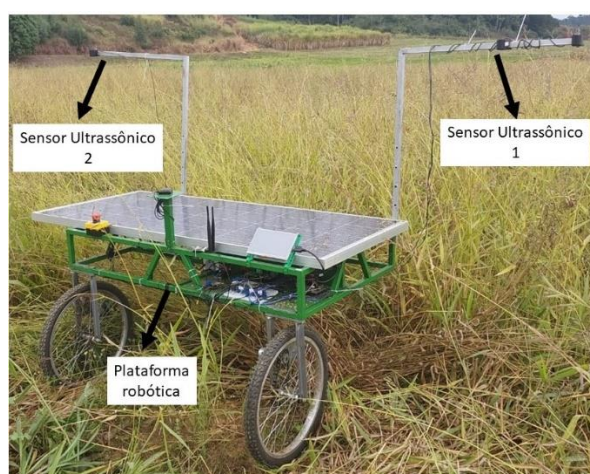
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Agricultura Digital localizado nas instalações do Laboratório de Mecanização Agrícola, sendo pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O experimento em campo foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Produção de Grandes Culturas e Bioenergia da UFV, localizado próximo ao Aeroporto de Viçosa – SNVC.

### 2.1 A plataforma robótica

A plataforma robótica (Figura 1) foi composta por um chassi metálico com largura 1,20 m, comprimento 0,70 m, vão livre ajustável a partir de 0,60 m e bitola ajustável. Esse chassi foi tracionado por duas rodas, instaladas na dianteira da plataforma, com pneus de 0,5 x 0,045 m (diâmetro externo x largura), com transmissão por correntes e acionadas por 2 motores elétricos independentes, alimentados com 24 Vcc, rotação máxima de 55 rpm e torque máximo de 35 N.m. A mudança de direção da plataforma robótica se deu pelo sistema diferencial, a partir da variação da velocidade angular das rodas dianteiras. A velocidade angular das rodas foi alterada por meio de um módulo de controle de motores tipo ponte H, permitindo inverter o sentido de rotação do motor e variar a velocidade a partir de um sinal PWM (em português, modulação pela largura de pulso).

Figura 1 – Plataforma robótica remotamente controlada com sensores ultrassônicos utilizados para medição da altura de pastagem



Fonte: Autor.

Visando uma maior autonomia nas operações agrícolas, a alimentação de energia elétrica da plataforma robótica (Figura 1) foi realizada por um painel fotovoltaico com potência máxima de 150 W. Além do painel fotovoltaico, o sistema de alimentação de energia elétrica utilizou um conversor *Boost DC Step Up* para elevar a tensão contínua do painel, um controlador de carregamento das baterias e duas baterias de 12 V/20 Ah associadas em série para formação de sistema de alimentação em 24 V.

A plataforma robótica foi operada utilizando um smartphone *Android* com aplicativo *Bluetooth RC Controller* (Google Play, 2023) como controle remoto. Uma placa de desenvolvimento ESP32 foi utilizada como unidade central de processamento da plataforma robótica. A comunicação entre a ESP32 e o aplicativo de controle foi por protocolo de comunicação sem fio *Bluetooth*. Essa placa ESP32 foi a responsável por receber os comandos do controle remoto e enviar sinais elétricos para os módulos de controle dos motores.

Uma segunda placa ESP32 foi utilizada para obter e armazenar as distâncias medidas pelo sensor ultrassônico (distância entre o sensor e a forragem) e georreferenciar essas distâncias. Para o georreferenciamento dos pontos de coleta, foi utilizado o módulo *Global Positioning System* (GPS) GY-NEO6MV2, obtendo-se dados de data e hora, latitude, longitude e a velocidade de deslocamento da plataforma. O módulo GPS continha uma antena externa permitindo a captação dos sinais de satélites do sistema GPS. As informações disponibilizadas pelo módulo GPS, utilizando as sentenças no padrão *National Marine Electronics Association* (NMEA) 0183, foram lidas pela ESP32 utilizando o protocolo de comunicação *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART).

## 2.2 Sensores ultrassônicos

A determinação da altura da pastagem foi realizada utilizando dois sensores ultrassônicos de baixo custo, modelo AJ-SR04M, com tensão de trabalho de 3,5 ou 5. O sensor ultrassônico apresenta faixa de medição 0,2 a 8,0 m, com resolução de 0,5 cm. Esse sensor emitia ondas no ar que eram refletidas pelo dossel das plantas presentes na sua região de atuação. Medindo-se o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção da onda era possível calcular a distância do dossel ao sensor. Para determinar a altura da pastagem, os dois sensores foram instalados em duas hastes metálicas, cada uma fixada em um lado da plataforma robótica. A distância do sensor ultrassônico ao solo foi de 1,25 m. A partir da diferença da altura dos sensores ao solo e da distância entre o sensor e o dossel das plantas foi possível a determinação da altura das pastagens.

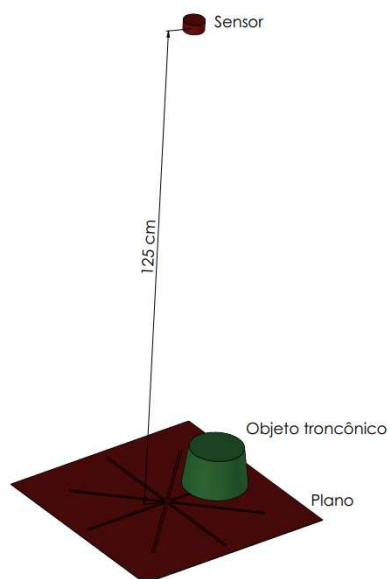
## 2.3 Calibração dos sensores ultrassônicos

A plataforma foi mantida estática em laboratório, a fim de efetuar deslocamentos horizontais e verticais, para determinação do ângulo do campo de visão do sensor ultrassônico e calibração dos valores de distância informados pelo sensor.

### 2.3.1 Ângulo do campo de visão dos sensores ultrassônicos

Para a medição do campo de visão do sensor ultrassônico, foram desenhadas linhas horizontais na superfície do piso, dispostas radialmente, com espaçamento angular de  $45^\circ$  entre elas, e distante 1,25 m do sensor. Um objeto em formato troncônico foi deslocado sobre as linhas horizontais, em distâncias pré-definidas de 0,02 m. Para cada linha e cada posição do objeto, os valores de distância informados pelos sensores ultrassônicos foram registrados. A partir dos dados, determinou-se a área de visão do sensor no solo e calculou-se o ângulo do campo de visão.

Figura 2 – Ilustração do esquema experimental para a medição do ângulo do campo de visão do sensor ultrassônico



Fonte: Autor.

### 2.3.2 Calibração da distância informada pelos sensores ultrassônicos

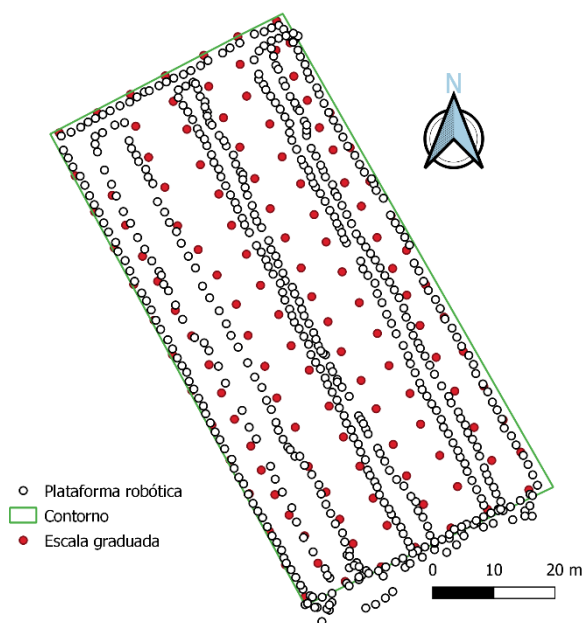
Para a calibração da distância informada pelos dois sensores ultrassônicos, objetos de formatos diversos foram utilizados para se obter 15 distâncias entre o sensor e o objeto. Os objetos foram escolhidos para que distância do topo do objeto ao sensor ficasse na faixa de utilização do sensor para esse trabalho (0,20 m a 1,25 m). Para cada objeto, os valores informados pelos sensores foram registrados com as suas respectivas distâncias reais obtidas com uma régua graduada com resolução 1 mm. Utilizando regressão linear, foram geradas equações de calibração para corrigir os valores de distância informados por ambos os sensores.

#### **2.4 Precisão da plataforma robótica na determinação da altura de forragens**

Para avaliação da plataforma robótica com os sensores ultrassônicos foi utilizado uma área plana de 0,38 ha cultivada com *Brachiaria*. Utilizando uma régua graduada com uma precisão de 1,0 mm, a altura da forragem foi obtida a cada 6 metros, em grade, regular, incluindo coleta nas bordas, totalizando 129 pontos de coleta (Figura 3). Um receptor GNSS topográfico Trimble PROXT foi utilizado para o georreferenciamento dos pontos de coleta.

A plataforma robótica deslocou-se na área com uma velocidade média de 0,5 m/s, coletando dados a cada 5 segundos. O deslocamento se deu em linhas paralelas, a cada 6,0 m, de modo que o sensor ultrassônico 2 realizasse as medições na mesma região medida com a régua graduada (Figura 3). Devido a isso, observou-se espaçamento não equidistante entre as linhas de deslocamento da plataforma robótica, já que o receptor GNSS estava localizado no centro da mesma. A plataforma robótica também foi utilizada para realizar a medição de alturas nas bordas da área em estudo, totalizando 500 pontos de medição. A placa de prototipagem ESP32 armazenou os dados de altura da forragem obtida por ambos os sensores e a respectiva coordenada geográfica (latitude e longitude).

Figura 3 – Esquema da área de 0,38 ha, cultivada com *Brachiaria*, utilizada para a coleta da altura de forragem com os sensores ultrassônicos e a régua graduada



Fonte: Autor.

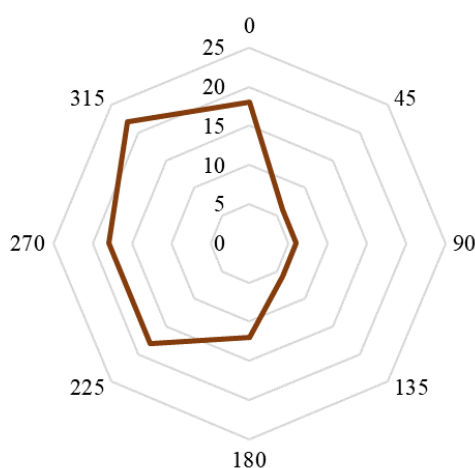
O *plugin* para QGIS Smart Map (Pereira et al., 2021) foi utilizado para geração de mapas de alturas da forragem, utilizando o método de interpolação por krigagem ordinária. Um primeiro mapa foi gerado utilizando os dados obtidos usando a régua graduada e o receptor GNSS Trimble PROXT (a ser denominado método manual). Dois outros mapas foram obtidos utilizando dados do sensor ultrassônico 1 e 2. Nos dois mapas utilizou-se a localização do centro da plataforma robótica. Inicialmente, a comparação dos três mapas foi obtida por análise visual da distribuição espacial dos valores de altura da forragem. Visto que a plataforma robótica não fez medições no mesmo local do método manual, nos dois mapas obtidos com a plataforma robótica foram extraídos os valores da altura da forragem nos mesmos locais onde ocorreu a medição manual (90 pontos internos). Foi realizada análise de correlação para comparar os dados obtidos com os sensores ultrassônicos 1 e 2, comparando com o método manual.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Determinação do ângulo do campo de visão dos sensores ultrassônicos

No gráfico tipo radar (Figura 4) é apresentada a região em que o sensor ultrassônico foi capaz de informar altura da face superior do objetivo troncocônico. O referido contorno, representou então, o campo de visão do sensor, em um plano distante 1,25 m do sensor. Os dois sensores apresentam campo de visão iguais.

Figura 4 – Ilustração do campo de visão dos sensores ultrassônicos instalados na plataforma robótica em um plano distante 1,25 m do sensor. Os números 0 a 315 indicam o ângulo das linhas sobre as quais o objeto foi deslocado. Os números 0 a 25 indicam a distância em relação ao centro do sensor



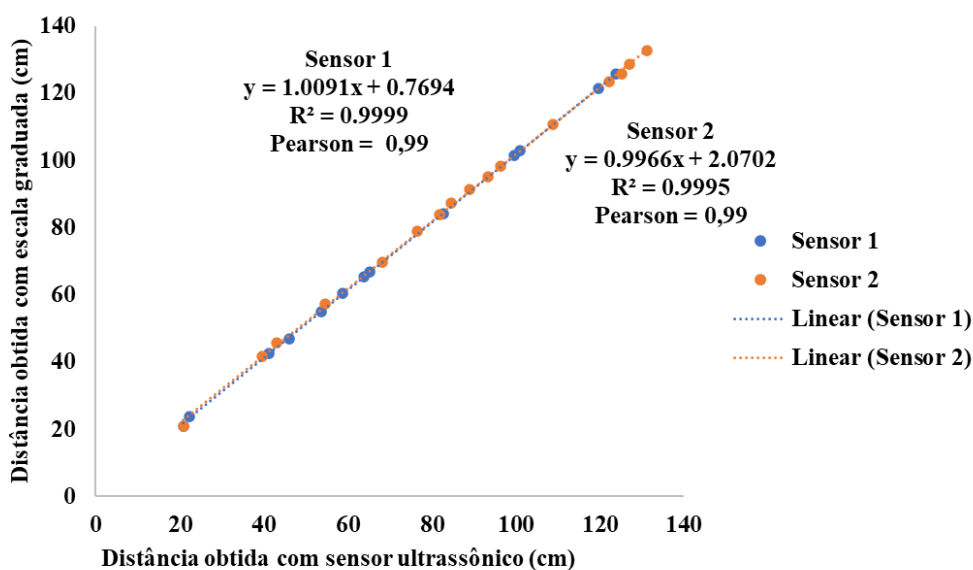
Fonte: Autor.

Observou-se que o comprimento médio do campo de visão do sensor foi de 26,5 cm. Considerando que o sensor ultrassônico estava distante 1,25 m do plano, obteve-se ângulo do campo de visão de aproximadamente 12,5 graus. O ângulo de campo de visão obtido no referido trabalho é inferior ao informado nos sites de lojas virtuais que comercializam tal sensor. Robocore (2023) informou ângulo de 75°, Arducore (2023), Casa da Robótica (2023) e Open Circuit (2023) informaram ângulo de 50 °, enquanto Saravati (2023) informou 15 °.

#### 3.2 Calibração dos sensores ultrassônicos

Analisando as equações de regressão linear, observou-se que o coeficiente angular das retas para ambos os sensores é próximo de 1,0, com um coeficiente linear diferente de zero (Figura 5). Tal comportamento indicou que ambos os sensores apresentaram um desvio constante, em relação ao valor de referência obtido com a escala graduada, para objetos distantes entre 0,20 e 1,30 m. Os sensores 1 e 2 apresentaram um desvio de 0,7 e 2,0 cm, respectivamente. Além disso, os valores  $R^2$  para as equações de calibração para os sensores 1 e 2 foram 0,99 e 0,99, respectivamente. Os resultados indicaram que os dados de distância obtido com os sensores ultrassônicos AJ-SR04M está fortemente relacionado à distância real (correlação de Pearson próximo à 1,0), porém com um desvio constante, e que a equação de calibração desenvolvida foi adequada para corrigir tal desvio.

Figura 5 – Curva e equação de calibração das distâncias obtidas com os sensores ultrassônicos, utilizando régua graduada como instrumento de referência

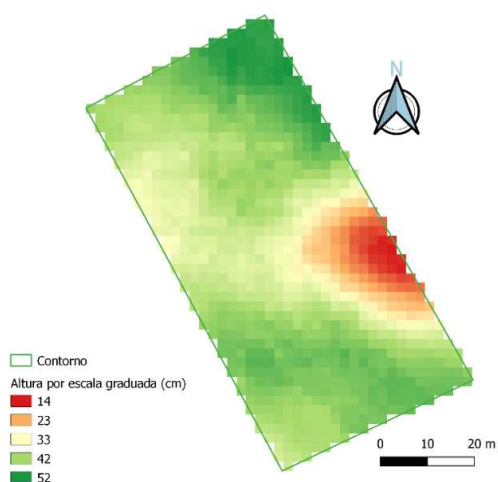


Fonte: Autor.

### 3.3 Precisão da plataforma robótica na determinação da altura de forragem

Após a interpolação dos dados obtidos pelo método manual, utilizando o método de krigagem do plugin Smart Map, observou-se que a altura da forragem variou de 14 a 52 cm (Figura 6). A região com altura reduzida (14 cm), ocorreu devido ao corte da forragem, de modo que a vegetação estava com uma altura próxima ao solo. Além disso, observou-se uma distribuição irregular da altura de forragem na área em estudo, devido ao acamamento em algumas regiões.

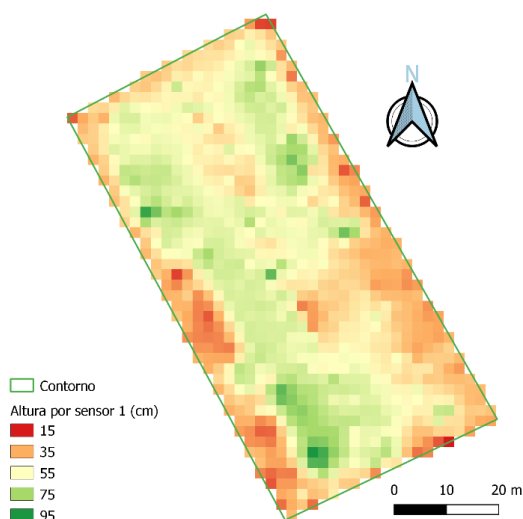
Figura 6 - Mapa de interpolação da altura de forragem obtido com dados de altura da forragem medido por escala graduada e receptor GNSS



Fonte: Autor.

Na Figura 7 é apresentado o mapa da altura da forragem, obtido a partir da interpolação dados de altura medido pelo sensor 1 da plataforma robótica. Comparando-se os com o mapa obtido pelo método manual (Figura 6), observou-se que os dados desse sensor não descreveram a variação espacial da altura da forragem.

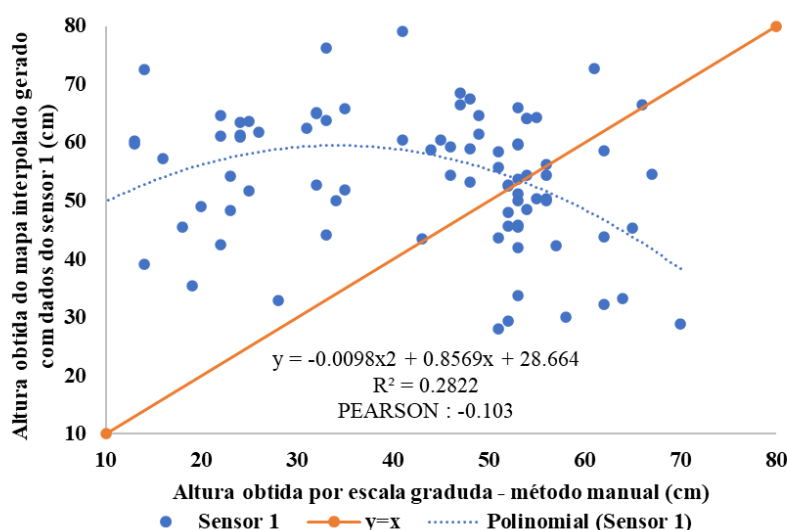
Figura 7 - Mapa de interpolação da altura de forragem obtido com dados de altura da forragem medido pelo sensor 1 da plataforma robótica



Fonte: Autor.

Já na Figura 8 é apresentada a relação entre as alturas das plantas obtidas pelo método manual e pelo mapa de interpolação (Figura 7), com os dados de altura do sensor 1 extraídos utilizando o método de krigagem ordinária. Reforçando o comportamento obtido pela análise da variação espacial da altura da forragem, observou-se as alturas obtidas a partir dos dados do sensor ultrassônico 1, apresentou nenhuma correlação (Pearson = -0,1013) com a altura obtida no método manual. Uma explicação é que durante o experimento a plataforma robótica se deslocou de forma que o sensor ultrassônico 2 mediu altura em locais próximos àqueles onde foi feita a medição manual. Devido ao acamamento localizado da forragem, as alturas obtidas pelo sensor 1 não tiveram relação com a altura obtida pelo método manual.

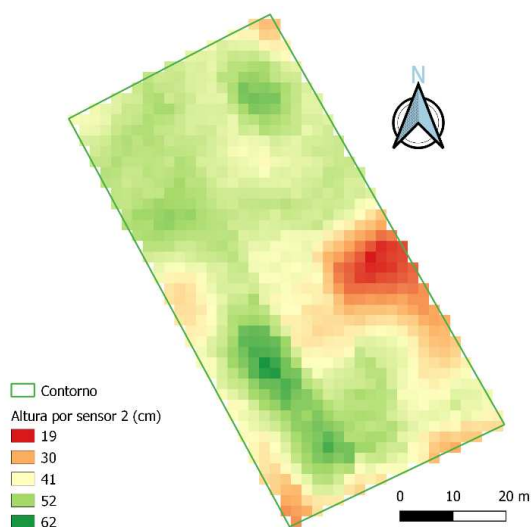
Figura 8 – Relação entre a altura da forragem medida pelo sensor ultrassônico 1 com o método manual



Fonte: Autor.

Como o sensor ultrassônico 2 mediu a altura da forragem em locais próximos à medição manual, observou-se similaridade na variação espacial da altura de forragem (Figura 9), principalmente na região de altura reduzida.

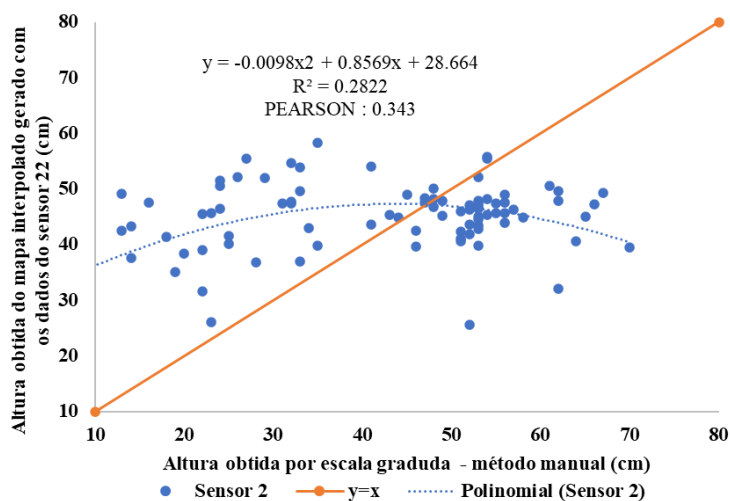
Figura 9 - Mapa de interpolação da altura de forragem obtido com dados de altura da forragem medido pelo sensor 2 da plataforma robótica



Fonte: Autor.

Na Figura 10 é apresentada a comparação entre os dados de altura da forragem obtidos pelo mapa do sensor ultrassônico 2, com os dados obtidos pela escala graduada para o mesmo local. Observou-se uma fraca correlação (Pearson =0,34) entre os dados e comportamento não linear. Apesar de fraca, tem-se que os dados obtidos pelo sensor ultrassônico 2 tem maior relação com método manual, comparado ao sensor ultrassônico 1.

Figura 10 – Relação entre a altura da forragem medida pelo sensor ultrassônico 2 com o método manual



Fonte: Autor.

A *Brachiaria* possui folhas eretas e estreitas, que resultam em uma baixa reflexão das ondas do sensor ultrassônico devido ao baixo índice de área foliar, em comparação com outras culturas, como a soja, que tem folhas mais largas. Essas características da *Brachiaria* afetaram a medição da altura das plantas pelos sensores ultrassônicos, que tendem a refletir melhor em culturas com maior índice de área foliar. Gebremedhin et al. (2019), relatou que a estimativa de altura de plantas por sensor ultrassônico pode ser afetada pela estrutura do dossel planta, como a posição da folha ou grupo de folhas que refletiram a onda emitida pelo sensor. Yuan et al. (2018) usaram sensores LIDAR e ultrassônicos para medir a altura das plantas de trigo e obtiveram um erro quadrático médio de 0,05 m e um coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,97 para o sensor LIDAR e um erro quadrático médio de 0,09 m e um  $R^2$  de 0,91 para o sensor ultrassônico.

Como a plataforma robótica se deslocou de forma remotamente controlada e a trajetória foi definida por inspeção visual, pode ter ocorrido regiões em que o sensor 2 não mediu a altura da forragem no mesmo local de medição pelo método manual. Além disso, nas medições realizadas com escala graduada, o critério adotado foi a altura da forragem na qual apresentava com maior quantidade de folhas. Por fim, para uma distância de 1,25 m, o sensor ultrassônico apresentou um campo de visão de  $12,5^\circ$ , indicando que a área de medição é aproximadamente de 0,20 x 0,20 m. Essa área de detecção explica a grande probabilidade de medição em locais diferentes do sensor em relação à escala graduada. Os fatores expostos podem ser utilizados como argumentos para explicar a fraca correlação observada entre os dados obtidos pelo sensor ultrassônico 2, comparado ao método manual.

Importante destacar ainda que, mesmo utilizando métodos automatizados, para mapeamento da altura de forragens, os métodos manuais raramente são extintos. Eles tem sido, e devem ser utilizados, para conferência e calibração dos métodos automatizados. Isso ocorre porque, em muitos casos, os métodos automatizados determinam a variável de interesse por meio indireto e utilizam modelos matemáticos que precisam ser conferidos ou calibrados. Barnetson et al. (2022), ao propor modelo para estimar quantidade e qualidade da biomassa de pastagem utilizando imagens hiperespectrais obtidas por câmera acoplada em VANT, utilizou o método da placa ascendente para validação do modelo. Rueda-Ayla et al. (2019), ao utilizar câmera RGB-D e câmera acoplada em VANT para desenvolver modelo para medição da altura de planta, utilizou escala graduada para validação.

## 4 CONCLUSÃO

Foi possível desenvolver um sistema para a medição da altura de forragem utilizando sensores ultrassônicos de baixo custo acoplados em uma plataforma robótica. Os sensores ultrassônicos mostraram-se precisos para a medição da altura de objetos quando de forma estática, apresentando um comportamento linear comparado às distâncias obtidas por escala graduada. Observou-se que o ângulo do campo de visão dos sensores ultrassônicos utilizados, de modelo AJ-SR04M, foi 12,5°, inferior ao informado nas lojas virtuais que os comercializam.

O mapa de altura de forragem obtido com dados do sensor ultrassônico 2, instalado no lado direito da plataforma, apresentou uma maior correlação com o mapa gerado a partir de dados obtidos com escala graduada, comparado ao mapa gerado pelo sensor ultrassônico 1, instalado no lado esquerdo da mesma plataforma. Porém, o sensor ultrassônico 2 apresentou baixa correlação (Pearson = 0,343) com os dados obtidos por escala graduada.

Sugere-se novas pesquisas para melhor compreensão sobre a utilização de sensor ultrassônico para medição da altura de forragens. Medir a altura das plantas, com escala graduada, em vários pontos para melhorar caracterização da microrregião, aumentar o número de pontos medidos com a plataforma robótica, adotar outras formas de análises de correção poderão aumentar a correlação entre os dados obtidos com sensor ultrassônico em relação ao método manual. Uma outra sugestão é a utilização do método do prato ascende como método manual.

## REFERÊNCIAS

- ARDUCORE. **Sensor Ultrassônico JSN-SR04M (a Prova D'água)**, © 2023. Disponível em: <https://www.arducore.com.br/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-dagua>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- BARNETSON, J. et al. Estimating Plant Pasture Biomass and Quality from UAV Imaging across Queensland's Rangelands. **AgriEngineering**, v.2, n.4, p.523-543, 2020.
- CASA DA ROBÓTICA. **Sensor Ultrassônico de Distância Jsn-sr04t a Prova d'água**, © 2023. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/sensores-e-modulos/sensores/movimento-e-proximidade/sensor-ultrassonico-de-distancia-jsn-sr04m-a-prova-d-agua>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- CEZAR, Ivo Martins et al. Uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. **Embrapa Gado de Corte**, v. 151, 2005.
- GEBREMEDHIN, A. et al. Prospects for Measurement of Dry Matter Yield in Forage Breeding Programs Using Sensor Technologies. **Agronomy**, v.9, n.2, p.65-84, 2019.
- GOOGLE PLAY. **Bluetooth RC Car**, © 2023. Disponível em: <https://www.arducore.com.br/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-dagua>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- INÁCIO, Maria Clara Pereira; BALDI, Higor Forasteiro; DOS SANTOS, Cláudia Ferreira; et al. Sistema intensivo X extensivo na criação de gado de corte. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.16, n.1, 2018.
- JOCHIMS, Felipe; SILVA, Patrícia Aparecida Pereira Da; PORTES, Vagner Miranda. Utilizando a altura do pasto para manejar as pastagens. **Agropecuária Catarinense** v. 31, n. 2, p. 42–44, 12 jun. 2018.
- MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira et al. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. **Embrapa**, p. 20–45, 2020.
- MENEZ, Jhonatas Rosa et al. Análise da pecuária de corte no sudeste do Brasil: Comparativo dos dois últimos censos (2006-2017). **Revista Científica da Ajes** v. 9, n. 19, 18 dez. 2020.
- MONTEIRO, A. et al. Precision Agriculture for Crop and Livestock Farming—Brief Review. **Animals**, v.11, n.8, p.2345, 2021
- OPEN CIRCUIT. **AJ-SR04M ultrasonic sensor waterproof v2.0**, © 2023. Disponível em: <https://opencircuit.shop/product/aj-sr04m-ultrasonic-sensor-waterproof-v2.0>. Acesso em: 04 dez. 2023.

PAULUS, S, et al. Low-Cost 3D Systems: Suitable Tools for Plant Phenotyping. **Sensors**, v.14, n.2, p. 3001-3018, 2014

PEREIRA, Gustavo Willam Pereira, et al. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy-Basel**, v. 12, p. 1350, 2022.

REIS, A.A, et al. Monitoring Pasture Aboveground Biomass and Canopy Height in an Integrated Crop–Livestock System Using Textural Information from PlanetScope Imagery. **Remote Sensing**. v.12, n.16, p. 2534, 2020.

ROBOCORE. **Sensor Ultrassônico - JSN-SR04T - À Prova de Água**, © 2023. Disponível em: <https://www.robocore.net/sensor-robo/sensor-ultrassonico-jsn-sr04t-a-prova-de-agua>. Acesso em: 04 dez. 2023.

RUEDA-AYALA, V.P. et al. Comparing UAV-Based Technologies and RGB-D Reconstruction Methods for Plant Height and Biomass Monitoring on Grass Ley. **Sensors**, v.19, n.3, p. 535, 2019.

SARAVATI. **Módulo Sensor Ultrassônico Impermeável JSN-SR04M**, © 2023. Disponível em: <https://www.saravati.com.br/modulo-sensor-ultrassonico-impermeavel-jsn-sr04m.htm>. Acesso em: 04 dez. 2023.

YUAN W, et al. Wheat Height Estimation Using LiDAR in Comparison to Ultrasonic Sensor and UAS. **Sensors**, v.18, n.11, p.3731, 2018.