

Calibração de um medidor de prato ascendente na estimativa da produtividade de pastagens biodiversas de sequeiro

Calibration of a rising plate meter (RPM) for estimating the productivity of dryland biodiverse pastures

João M. P. R. Serrano

*MED—Mediterranean Institute for Agriculture, Environment and Development and CHANGE—Global Change and Sustainability Institute, Universidade de Évora, Portugal
(E-mail: jmrs@uevora.pt)
<https://doi.org/10.19084/rca.40316>*

Recebido/received: 2025.02.13
Aceite/accepted: 2025.03.29

RESUMO

Este estudo avalia um sensor eletrónico, o medidor de prato ascendente, para estimar a produtividade da pastagem em termos de matéria seca (MS, em kg ha⁻¹). O processo decorreu durante o ciclo vegetativo da pastagem de 2023/2024. Foram recolhidas 192 amostras compósitas de pastagem em duas fases, calibração e validação. A fase de calibração (n = 144) decorreu em três datas (dezembro 2023, fevereiro e maio de 2024). Em cada uma destas datas foram efetuadas medições em 48 áreas de amostragem georreferenciadas num campo experimental de 4 ha, numa pastagem representativa das pastagens permanentes de sequeiro da região Alentejo, constituída por uma mistura de várias espécies botânicas, pastoreada por ovinos. A fase de validação (n = 48) decorreu entre dezembro de 2023 e abril de 2024 no mesmo campo experimental. O melhor modelo de calibração para estimativa da MS foi obtido nas recolhas realizadas em fevereiro de 2024 ($R^2 = 0,82$). Os resultados deste estudo exploratório em Portugal abrem perspetivas para outros trabalhos que permitam testar, calibrar e validar este sensor eletrónico numa gama mais ampla de condições de produção de pastagens, procurando aumentar a precisão da estimativa e, com esta, disponibilizar uma ferramenta expedita de apoio à tomada de decisão, nomeadamente, no que se refere à gestão da pastagem e do pastoreio.

Palavras-chave: sensores, modelo de previsão, densidade da pastagem, matéria seca

ABSTRACT

This study evaluates a expedient electronic sensor, a rising plate meter (RPM), to estimate pasture dry matter (DM, in kg ha⁻¹). The sampling process was carried out throughout the 2023/2024 pasture growing season. A total of 192 composite pasture samples were collected in two phases (calibration and validation). The calibration phase (n = 144) consisted of measurements on three dates (December 2023, February and May 2024). On each of these dates, measurements were carried out in 48 georeferenced sampling areas of a 4 ha experimental field. This pasture is representative of biodiverse permanent dryland pastures of Alentejo, a mixture of various botanical species, grazed by sheep. The validation phase (n = 48) was carried out between December 2023 and April 2024 in the same experimental field. The best estimation model for DM was obtained based on measurements carried out in February 2024 ($R^2 = 0.82$). The results of this exploratory study in Portugal open perspectives for other works that would allow the testing, calibration, and validation of these electronic sensors in a wider range of pasture production conditions, in order to improve their accuracy as decision-making support tools in pasture and grazing management.

Keywords: sensors, estimation model, pasture density, dry matter

INTRODUÇÃO

As pastagens assumem múltiplos papéis ao nível dos ecossistemas agrícolas (Nickmilder *et al.*, 2021), sendo um dos principais componentes dos sistemas extensivos de produção de ruminantes (Mas-Portocarrero *et al.*, 2022) e a fonte de alimento mais económica (Cárdenas *et al.*, 2020). As pastagens contribuem para a sustentabilidade da produção animal, para o bem-estar animal e para a segurança alimentar (Palma-Molina *et al.*, 2023). Informação rigorosa sobre a disponibilidade de biomassa é crítica para uma adequada gestão do pastoreio (Nickmilder *et al.*, 2021). A produtividade da pastagem em termos de matéria seca (MS, em kg ha^{-1}) é um parâmetro chave no processo de tomada de decisão, fundamentalmente no cálculo de encabeçamentos e necessidades de suplementação alimentar dos animais nas fases críticas (Cárdenas *et al.*, 2020; Mas-Portocarrero *et al.*, 2022).

A estimativa da MS através de métodos diretos exige o corte de amostras de pastagem e o respetivo processamento laboratorial, processo pouco prático e muito exigente em mão-de-obra e tempo, não sendo compatível à escala comercial (Legg e Bradley, 2020; Nickmilder *et al.*, 2021). Um gestor agrícola experiente pode ter uma ideia aproximada da disponibilidade de pastagem com base numa análise visual, contudo, é uma estimativa subjetiva e, por isso, pouco rigorosa (Chapa *et al.*, 2023). Pelo que, a avaliação de métodos indiretos, baseados em tecnologias emergentes, para monitorizar a variabilidade da produtividade da pastagem, é fundamental para assegurar a sustentabilidade económica e minimizar o impacto ambiental num setor estratégico como é o da produção animal (Murphy *et al.*, 2021a). A implementação do conceito de Agricultura de Precisão (AP), especialmente evidente na última década, com a emergência de tecnologias e com a crescente digitalização dos processos, tem permitido novas ferramentas e métodos que permitem o acesso fácil à informação (Gargiulo *et al.*, 2020), permitindo aos gestores agrícolas decisões de gestão mais informadas (Chapa *et al.*, 2023).

Vários estudos têm sido desenvolvidos nesta perspetiva, nomeadamente, na Nova Zelândia e Austrália (Pullanagari *et al.*, 2012; Hutchinson *et al.*, 2016; Lawson *et al.*, 2022) ou na Irlanda (O'Donovan *et al.*, 2002; Murphy *et al.*, 2021a), com sensores

próximos (SP) ou com a combinação destes com deteção remota (DR). Os estudos baseados em imagens de satélite ou imagens captadas por drones, por exemplo, permitem obter índices de vegetação a partir do cálculo de rácios de diferentes espectros de luz (Legg e Bradley, 2020). Contudo, a frequente ocorrência de nuvens durante todo o período vegetativo da pastagem (Outono, Inverno e Primavera) e a presença de árvores, elemento característico do ecossistema Mediterrânico Montado, reforça o interesse por sensores próximos.

A estimativa da biomassa é normalmente realizada a partir de medições da altura ou da altura comprimida da pastagem, o que pode ser conseguido por sensores laser, sensores de ultrassons ou por sensores mecânicos (Legg e Bradley, 2020), onde se inclui o medidor de prato ascendente (ou "Rising Plate Meter", "RPM"). O sensor "RPM" é o mais usado na monitorização da pastagem em vários países, como o Chile, a Nova Zelândia (Cárdenas *et al.*, 2020), a Austrália (Gargiulo *et al.*, 2020; Lawson *et al.*, 2022), ou a Irlanda (Murphy *et al.*, 2021a). Este sensor combina a medição da altura com a densidade da pastagem, através da medição da designada "altura comprimida" (H_{RPM}) (Murphy *et al.*, 2021a) e, com base na qual permite estimar a MS (Palma-Molina *et al.*, 2023). Contudo, estes métodos requerem uma prévia calibração para as condições em que se pretendem usar, uma vez que as equações propostas pelos fabricantes são obtidas em países e em condições muito específicas (Cárdenas *et al.*, 2020). Por isso, o fabricante do sensor "RPM" propõe uma equação geral (Equação 1):

$$MS = a + b \times H_{\text{RPM}} \quad (1)$$

Onde: MS é a produtividade em termos de matéria seca (kg ha^{-1}), H_{RPM} é a altura comprimida da pastagem (em cm) medida pelo sensor "RPM" e "a" e "b" são coeficientes da equação, respetivamente o valor da ordenada na origem e a inclinação da reta, ajustáveis mensalmente à evolução do ciclo vegetativo da pastagem (Gargiulo *et al.*, 2020).

A avaliação de tecnologias com potencial para monitorizar a produtividade da pastagem e a sua variabilidade espacial é fundamental para apoiar decisões mais informadas. Em Portugal, as tecnologias de AP apresentam um impacto relativamente modesto nos sistemas extensivos de produção

de ruminantes, não sendo conhecidos resultados publicados com a utilização deste sensor em Portugal. Por isso, o objetivo deste estudo exploratório é avaliar a precisão do sensor comercial “RPM” “Jenquip EC20” na estimativa da produtividade de pastagens biodiversas de sequeiro no Alentejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Campo experimental

O estudo foi realizado durante o ciclo vegetativo da pastagem de 2023/2024 numa parcela de 4 ha, denominada “Eco-SPAA” (Figura 1), localizada na herdade da Mitra (Évora, Portugal; 38°53,10 N; 8°01,10 W). Nesta parcela encontra-se instalada uma pastagem permanente biodiversa (mistura de gramíneas, leguminosas, compósitas e outras), pastoreada por ovinos. As espécies predominantes são *Erodium moschatum*, *Diptotaxis catholica*, *Trifolium repens*, e gramíneas espontâneas, representativas das pastagens de sequeiro da região Alentejo.

A parcela experimental integra um projeto de investigação de longo prazo, iniciado em 2015. Encontra-se subdividida em 4 parques de aproximadamente

1 ha cada: os parques P3 e P4 foram sujeitos a várias aplicações de calcário dolomítico entre 2016 e 2023; nos parques P1 e P4 os animais encontram-se em pastoreio contínuo, com baixos encabeçamentos (7 ovinos ha⁻¹); nos parques P2 e P3 o pastoreio é diferido (alternância de pastoreio e de repouso, em função da altura média da pastagem), com encabeçamentos elevados (17 ovinos ha⁻¹).

Processo de amostragem

O processo de amostragem da pastagem envolveu a recolha de 192 amostras compósitas, em duas fases: calibração (n = 144) e validação (n = 48). A fase de calibração decorreu em três datas (I, II e III, respetivamente, 6 de dezembro de 2023, 29 de fevereiro de 2024 e 10 de maio de 2024). Em cada uma destas datas foram recolhidas 48 amostras compósitas, sempre nas mesmas áreas (georreferenciadas), 12 em cada um dos quatro parques de pastoreio (P1 a P4; Figura 1). Estas áreas de amostragem foram identificadas num estudo prévio por um especialista em botânica, de acordo com a composição florística da pastagem. O número de amostras da fase de calibração (144 = 3 × 48) foi determinado com base no número de eventos de monitorização (3) e

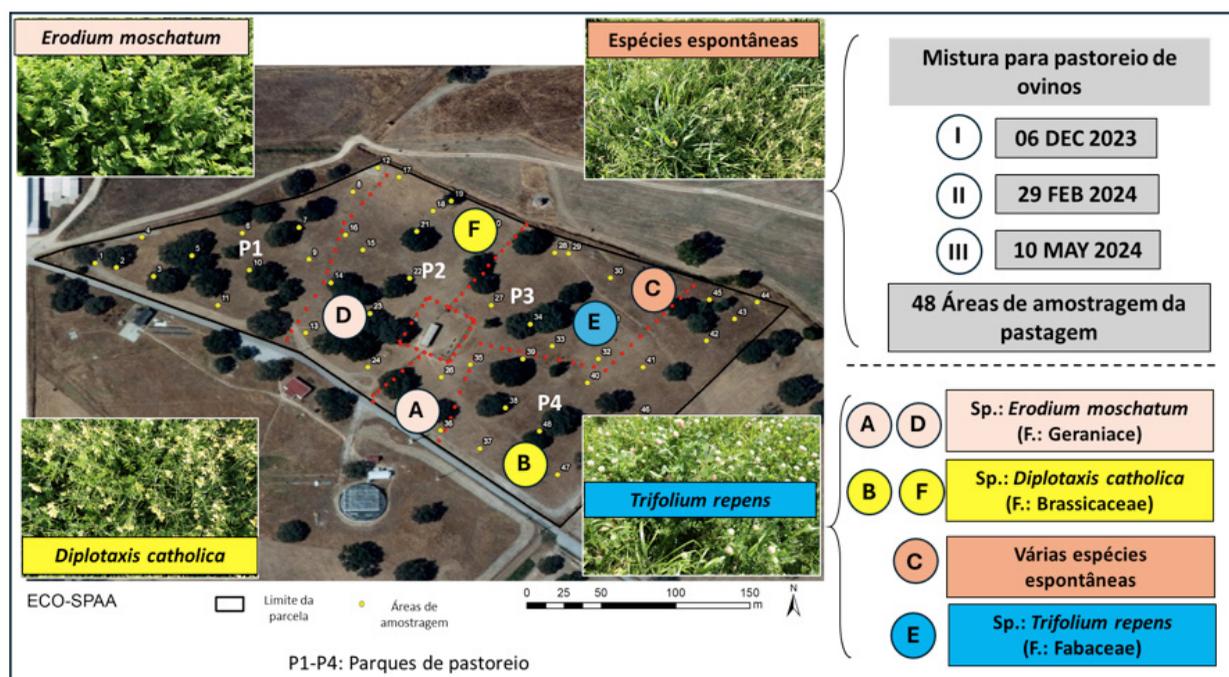


Figura 1 - Parcela experimental “Eco-SPAA”: localização das 48 áreas de amostragem da fase de calibração e das 6 áreas de amostragem da fase de validação, com indicação das espécies botânicas predominantes.

do número de áreas de amostragem georreferenciadas (48). Por sua vez, o número de eventos de amostragem foi estabelecido de acordo com a evolução da pastagem ao longo do ciclo vegetativo, garantindo um evento no Outono (dezembro), outro no Inverno (fevereiro) e outro na Primavera (maio).

A fase de validação consistiu em 6 ensaios e decorreu entre dezembro de 2023 e abril de 2024. Em cada um destes ensaios foi identificada uma área da parcela “Eco-SPAA” com predominância de diversas espécies botânicas (A a F; Figura 1) e consistiu na medição com o sensor e recolha aleatória de 8 amostras compósitas de pastagem.

Medições de campo, recolha de amostras de pastagem e determinações laboratoriais

As determinações de campo iniciaram-se com 3 medições realizadas por um operador com o sensor RPM (“Jenquip EC20 electronic platometer”; Figura 2a) em cada área de amostragem (3 m × 3 m), procurando capturar a variabilidade espacial de cada uma destas áreas. A altura comprimida (H_{RPM}) foi registada via “Bluetooth” através de uma aplicação para telemóvel (Figura 2b). Após cada medição realizada com o sensor, outro operador procedeu ao corte da respetiva área de pastagem delimitada por um aro metálico (0,5 m × 0,5 m)

com uma tesoura elétrica (Figuras 2c e 2d). A pastagem foi cortada até 1-2 cm acima do nível do solo, permitindo o recrescimento do material vegetal remanescente. A matéria verde recolhida nestes 3 cortes constituiu uma amostra compósita, tendo sido inserida num saco de plástico, identificado com o código da área de amostragem. As amostras compósitas foram transportadas para o laboratório para pesagem, seguida de desidratação em estufa até peso constante. Os resultados destas pesagens permitiram determinar a produtividade em verde (MV, em kg ha^{-1}) e em seco (MS, em kg ha^{-1}), para além do teor de humidade da pastagem (HP, em %).



Figura 2 - Sensor medidor de prato ascendente em operação na pastagem (a); leitura dos registos da medição do sensor na aplicação no telemóvel (b); corte da pastagem com tesoura elétrica (c); aro delimitador da área de corte (d).

Análise de dados

Os dados obtidos em cada ensaio de campo (da fase de calibração e da fase de validação) foram organizados em folhas de cálculo do Microsoft Excel (Microsoft 365 version, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) para calcular os parâmetros de estatística descritiva (média, desvio padrão e intervalo de variação) da MV, MS, HP e H_{RPM} .

Foi usada análise de regressão para avaliar a relação entre as variáveis MS e H_{RPM} . A precisão dos modelos lineares de estimativa da MS foi avaliada através dos coeficientes de determinação (R^2).

O melhor modelo obtido na fase de calibração foi enquadrado nos resultados obtidos nos seis ensaios da fase de validação. Foi calculada a raiz quadrada do erro médio (Root Mean Square Error, RMSE, em $kg\ ha^{-1}$) entre a MS medida e a MS estimada em cada fase de calibração.

A informação georreferenciada obtida nas 3 datas da fase de calibração, nas 48 áreas georreferenciadas da parcela "Eco-SPAA", foi processada no software ARCGIS v. 10.5. Foi usada uma análise geoestatística (krigagem) com a extensão "Geo-statistical Analyst" para obter os mapas da variabilidade espacial da MS obtida a partir das determinações laboratoriais (MS medida) e da estimativa baseada na medição da altura comprimida (H_{RPM}) realizada pelo sensor medidor de prato ascendente (MS estimada).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade espacial e temporal da pastagem

Os resultados da estatística descritiva (média \pm desvio padrão e intervalo de variação) dos parâmetros da pastagem (MV, MS e HP) e da altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) são apresentados no Quadro 1 (fase de calibração) e no Quadro 2 (fase de validação).

A variabilidade espacial dos parâmetros obtidos (MV, MS, HP e H_{RPM}) é evidente nos coeficientes de variação (CV) respetivos, da ordem dos 30-60%, aspeto referido em vários outros trabalhos envolvendo pastagens de sequeiro (Huyghe *et al.*, 2014;

Fernández-Habas *et al.*, 2021). Murphy *et al.* (2021b), em pastagens na Irlanda, encontraram CV para a biomassa entre 15 e 50%. De acordo com os mesmos autores, esta heterogeneidade é típica de pastagens pastoreadas devido ao pastoreio seletivo e à variação sazonal da morfologia das plantas, o que aumenta a dificuldade de estimativa da MS da pastagem. Num trabalho de revisão sobre a aplicação de tecnologias para medição da produtividade em pastagens, Murphy *et al.* (2021c) indicaram valores de CV da produtividade da pastagem entre 25 e 46%.

Por outro lado, é também notória a variabilidade temporal (entre datas de medições), com a produtividade média (MS, em $kg\ ha^{-1}$) nos ensaios de calibração a variar entre 571 $kg\ ha^{-1}$ em dezembro, 1834 $kg\ ha^{-1}$ em fevereiro e 2353 $kg\ ha^{-1}$ em maio, enquanto a HP apresentou uma tendência inversa (89,9%, 84,6% e 69,95, respetivamente em dezembro, fevereiro e maio).

Esta evolução da produtividade (e também da qualidade), característica das pastagens de sequeiro ao longo do ciclo vegetativo é determinado pelas condições meteorológicas (especialmente a temperatura e a precipitação) e condicionada pela gestão do pastoreio (contínuo ou diferido, e diferentes encabeçamentos) (Efe Serrano, 2006). Na Figura 3 é apresentado o diagrama termo-pluviométrico (temperatura média mensal e precipitação mensal acumulada) da estação meteorológica de Évora (a cerca de 10km da herdade da Mitra) referente ao período entre julho de 2023 e junho de 2024. É evidente uma distribuição relativamente equilibrada da precipitação entre o Outono, o Inverno e mesmo o início da Primavera. Aproximadamente 300 mm de precipitação ocorreram no Outono (entre setembro e dezembro) e também no Inverno (entre dezembro e março), o que é uma garantia de boa produtividade da pastagem, assegurando o primeiro pico de produção no final do Outono e o pico máximo de produção acumulada na Primavera, fases reconhecidas como determinantes do potencial produtivo da pastagem (Efe Serrano, 2006). No nosso estudo, as medições na pastagem (fases de calibração e validação) decorreram entre estes dois picos de produção (entre dezembro e maio), para assegurar a representatividade das fases determinantes do ciclo vegetativo da pastagem.

Quadro 1 - Base de dados da fase de calibração: média, desvio padrão e intervalo de variação dos parâmetros medidos em cada ensaio

Data (n)	Parâmetro	MV (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	HP (%)	H _{RPM} (mm)
I (48)	Média ± DP (Inter. Var.)	6254 ± 4274 (1423 – 21090)	571 ± 257 (237 – 1703)	89.0 ± 3.3 (79.7 – 93.4)	53.1 ± 35.4 (14 – 232)
II (48)	Média ± DP (Inter. Var.)	13256 ± 7054 (3867 – 27917)	1834 ± 745 (580 – 3460)	84.6 ± 3.2 (75.2 – 90.5)	103.6 ± 55.3 (22 – 244)
III (48)	Média ± DP (Inter. Var.)	8245 ± 4759 (2580 – 25037)	2353 ± 1108 (933 – 4400)	69.9 ± 6.9 (51.9 – 80.2)	77.8 ± 42.2 (22 – 240)

n- Número de áreas de amostragem; DP- Desvio padrão; Inter. Var. – Intervalo de variação; MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; HP- Humidade da pastagem; H_{RPM}- Altura comprimida lida pelo medidor de prato ascendente.

Quadro 2 - Base de dados da fase de validação: média, desvio padrão e intervalo de variação dos parâmetros medidos em cada ensaio

Ensaio (n)	Parâmetro	MV (kg ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	HP (%)	H _{RPM} (mm)
A (8)	Média ± DP (Inter. Var.)	13003 ± 6821 (4590 – 25890)	1346 ± 470 (730 – 2160)	88,7 ± 2,4 (84,1 – 91,7)	67,4 ± 24,9 (29 – 128)
B (8)	Média ± DP (Inter. Var.)	15426 ± 8360 (6050 – 26210)	2260 ± 940 (1040 – 3470)	84,1 ± 3,4 (78,9 – 88,2)	128,2 ± 53,1 (63 – 223)
C (8)	Média ± DP (Inter. Var.)	8373 ± 3163 (4850 – 12890)	1456 ± 371 (960 – 1970)	81,8 ± 2,8 (76,5 – 85,0)	92,0 ± 34,7 (27 – 152)
D (8)	Média ± DP (Inter. Var.)	20443 ± 8564 (6720 – 33930)	2534 ± 899 (1050 – 3600)	8,2 ± 1,5 (84,4 – 89,4)	111,2 ± 55,7 (43 – 219)
E (8)	Média ± DP (Inter. Var.)	18749 ± 9233 (8040 – 31710)	2301 ± 970 (1200 – 3670)	87,2 ± 1,3 (85,1 – 88,6)	120,4 ± 46,4 (57 – 209)
F (8)	Média ± DP (Inter. Var.)	15269 ± 3606 (7750 – 18700)	2195 ± 517 (1240 – 2840)	85,5 ± 1,6 (83,2 – 87,6)	135,5 ± 38,1 (68 – 213)

n- Número de áreas de amostragem; DP- Desvio padrão; Inter. Var. – Intervalo de variação; MV- Matéria verde; MS- Matéria seca; HP- Humidade da pastagem; H_{RPM}- Altura comprimida lida pelo medidor de prato ascendente;

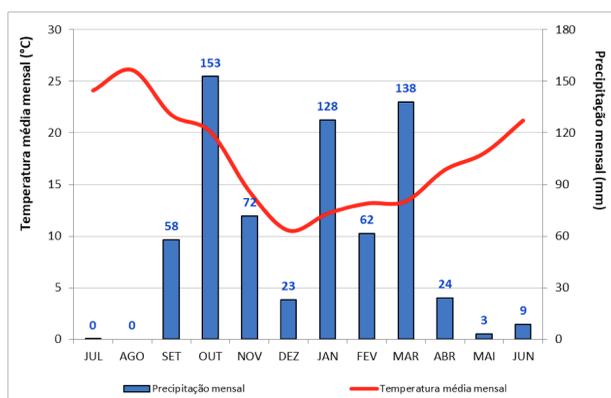


Figura 3 - Diagrama termo-pluviométrico da estação meteorológica de Évora, entre julho de 2023 e junho de 2024.

A aplicação de novas tecnologias à produção de pastagens e forragens é considerado um desafio complexo não só pela elevada variabilidade espacial, mas também pela forte dinâmica temporal da produtividade e da composição florística (Schellberg *et al.*, 2008). Cada espécie botânica, com características específicas (morfológicas, prostradas ou de porte erecto, teor de humidade, proporção de caules e folhas, proporção de proteína ou de fibra, etc.) que evoluem ao longo do tempo, reflete diferente comportamento perante sensores com princípios de funcionamento diverso (mecânico, como é o caso do RPM, elétrico, ótico, ou outro). Neste estudo, para além dos fatores de variação inerentes à biodiversidade da composição florística da

pastagem (com a presença de mais de 50 espécies botânicas em apenas 4 ha (Serrano *et al.*, 2023) e da sua evolução sazonal, há a considerar um fator determinante como é a gestão do pastoreio (Murphy *et al.*, 2021c). Esta parcela experimental (“Eco-SPAA”) inclui quatro sub-parcelas, com aproximadamente 1 ha cada, sendo que apenas duas delas foram sujeitas a correção do pH, para além de terem sido implementados diferentes sistemas de pastoreio e respetivos encabeçamentos (Serrano *et al.*, 2023), o que tem impacto na altura da pastagem e na sua produtividade, na qualidade e na composição florística (Huyghe *et al.*, 2014; Murphy *et al.*, 2021a).

A consequência imediata da variabilidade espacial é a necessidade de um grande número de áreas de amostragem para conseguir captar esta variabilidade. Murphy *et al.* (2021a), por exemplo, sugerem que as áreas de amostragem devam ser aleatoriamente selecionadas, mas de forma equilibrada na pastagem. Neste trabalho, a inclusão de 48 áreas de amostragem (12 por cada parque de pastoreio), georreferenciadas, permitiu medições nos mesmos locais ao longo do tempo (nas três datas de amostragem para a fase de calibração). Para eliminar uma fonte de erro comum, associada ao operador que realiza as medições (Murphy *et al.*, 2021c), neste estudo manteve-se sempre o mesmo operador em cada tarefa (medições com o sensor e corte das amostras de pastagem).

Relação entre variáveis: Fases de calibração e de validação

O facto deste sensor (RPM) não ter sido testado em pastagens de sequeiro da região da Península Ibérica impede o enquadramento com outros estudos em condições semelhantes (caraterísticas das pastagens e condições climáticas).

A estimativa da produtividade da pastagem (MS, em kg ha⁻¹) a partir da altura comprimida medida pelo sensor RPM foi, neste estudo, significativa para o conjunto de dados dos três ensaios da fase de calibração (R²= 0,5669; Figura 4). Contudo, a estimativa foi mais precisa quando a análise foi realizada de forma separada, para cada data de calibração, neste caso, para cada estação do ano (outono, inverno e primavera). A Figura 5 mostra a

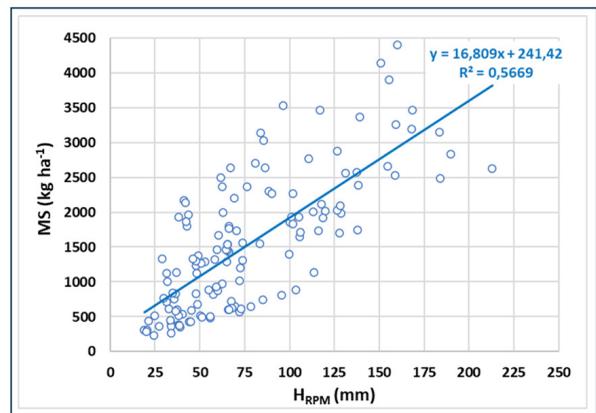


Figura 4 - Relação entre a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) medida pelo sensor medidor de prato ascendente e a matéria seca da pastagem (MS) no conjunto dos ensaios de calibração (dezembro de 2023, fevereiro e maio de 2024).

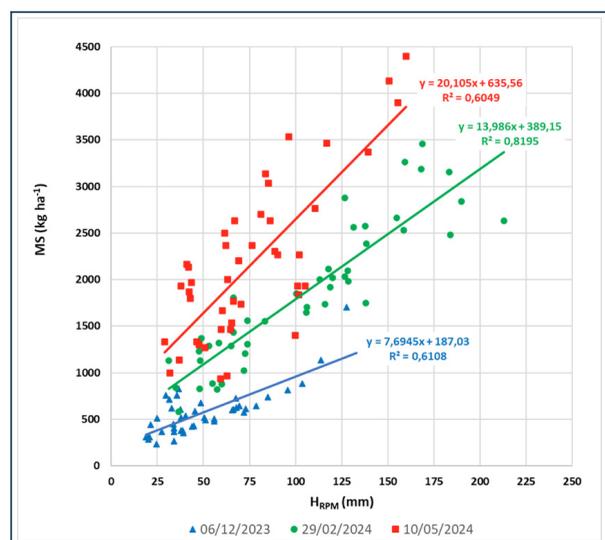


Figura 5 - Relação entre a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) medida pelo sensor medidor de prato ascendente e a matéria seca da pastagem (MS) em cada data dos ensaios de calibração (dezembro de 2023, fevereiro e maio de 2024).

vantagem de abordagens temporalmente diferenciadas, sendo que o R² foi especialmente elevado na calibração referente a fevereiro (R² = 0,82), com valores relativamente mais baixos (R² = 0,60-0,61) nas calibrações realizadas na primeira data (dezembro) e na terceira data (maio).

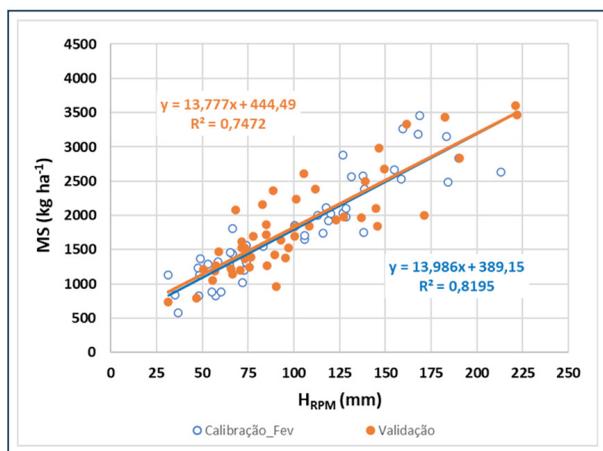


Figura 6 - Relação entre a altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) medida pelo sensor medidor de prato ascendente e a matéria seca da pastagem (MS); enquadramento dos resultados da fase de validação nos resultados dos ensaios de calibração de fevereiro de 2024.

Os valores médios da MS e da altura comprimida da pastagem (H_{RPM}) obtidos na fase de validação mostram um padrão semelhante ao obtido na fase de calibração realizada em fevereiro, com retas de regressão que praticamente se sobrepõem (Figura 6), qualquer delas muito próximas da equação geral proposta pelo fabricante do sensor RPM (Equação 1). O RMSE foi de 35,1 kg de MS ha^{-1} na validação da equação de calibração de fevereiro, confirmando-se menor precisão nas estimativas de dezembro e maio, onde o RMSE atingiu valores de 605,0 e 702,8 kg MS ha^{-1} , respectivamente.

Um aspecto que este estudo releva é a confirmação do efeito significativo da dinâmica temporal da pastagem na correlação entre medições indiretas (sensor) e medições diretas da MS da pastagem, o que requer a adaptação de equações de calibração às condições específicas de cada pastagem em cada fase do ciclo, aspecto mencionado em vários trabalhos publicados relacionados com a calibração destas ferramentas tecnológicas (Gargiulo *et al.*, 2020; Serrano *et al.*, 2020; Murphy *et al.*, 2021a). O nosso estudo revelou menor precisão do modelo de estimativa na calibração realizada numa fase adiantada do ciclo vegetativo (maio), o que se encontra relativamente bem documentado na literatura: modificações morfológicas ocorrem na transição

do estado vegetativo para o estado reprodutivo do ciclo vegetativo da pastagem, tornando as plantas mais heterogêneas (em termos de altura e densidade) e com maiores teores de fibra (Murphy *et al.*, 2021b,c), com um claro aumento da proporção de material senescente (Moeckel *et al.*, 2017). A principal diferença entre equações de calibração para estimativa da MS da pastagem está ligada ao tipo e estrutura das plantas (Cárdenas *et al.*, 2020), fundamentalmente a composição botânica e o seu estado vegetativo (altura, espécies, homogeneidade, etc.) (Chapa *et al.*, 2023). De acordo com Cárdenas *et al.* (2020), a inclinação da reta de calibração em pastagens com altos teores de fibra (como *Stipagrostis amabilis*) pode ser o dobro de outras (por exemplo *Lolium perenne*).

Atendendo ao baixo nível de incorporação tecnológica associado aos sistemas de produção animal extensivos, o sensor avaliado neste estudo representa um “upgrade” no nível de desenvolvimento uma vez que, para além da elevada precisão da estimativa, não requer registo manual dos dados. As leituras da altura comprimida são armazenadas numa aplicação para telemóvel, as quais podem ser associadas às coordenadas geográficas das áreas de amostragem.

De acordo com Murphy *et al.* (2021a), a implementação de protocolos de amostragem robustos em associação com tecnologias GNSS permite o uso de procedimentos geoestatísticos, com o desenvolvimento de mapas para análise espacial, com aplicações em AP. Gargiulo *et al.* (2020) reforçou o interesse de futuros estudos integrarem as medições com os sensores (neste caso o RPM) em associação com recetores GNSS e ferramentas de informação geográfica (SIGs- Sistemas de Informação Geográfica), permitindo novas oportunidades para recolha e processamento rápido de grandes quantidades de dados. A representação espacial dos padrões de variabilidade são a base para a tomada de decisão e gestão dos agricultores (Murphy *et al.*, 2021b). A Figura 7 exemplifica a aplicação deste desenvolvimento aos dados obtidos neste estudo com base nos ensaios de calibração realizados em fevereiro, apresentando os mapas de MS um padrão semelhante entre os valores medidos e os valores estimados a partir do modelo de estimativa.

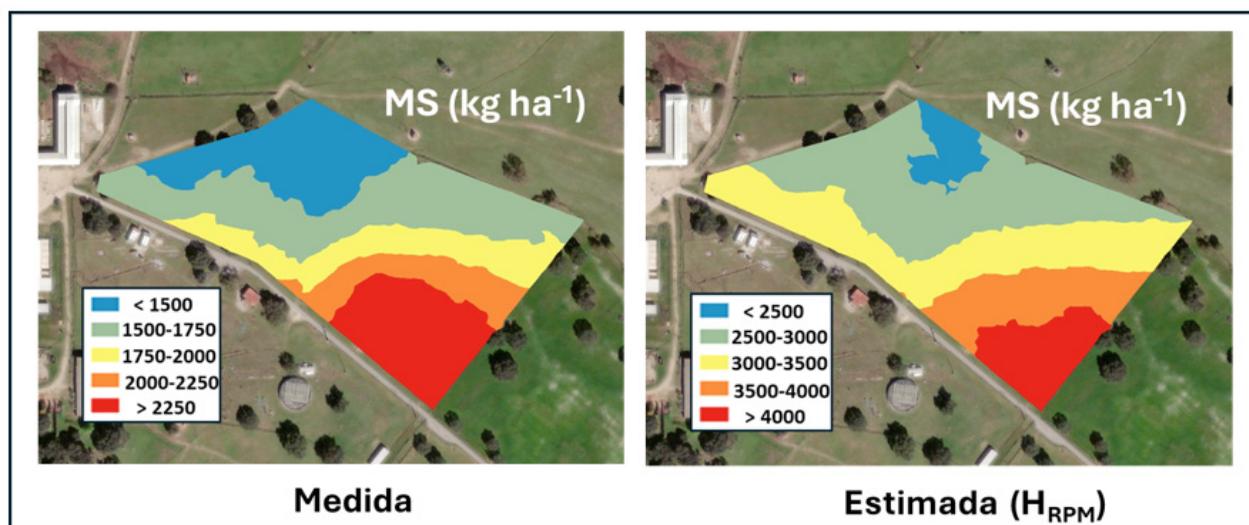


Figura 7 - Mapas da produtividade da pastagem (MS, em kg ha^{-1}), medida (após corte e processamento laboratorial) e estimada (baseada nas medições da altura comprimida realizadas pelo sensor medidor de prato ascendente, H_{RPM}), nos ensaios de calibração de fevereiro de 2024.

CONCLUSÕES

Em Portugal, as tecnologias de Agricultura de Precisão têm um impacto modesto nos sistemas extensivos de produção de ruminantes, quando comparados com outros setores agrícolas. A avaliação de tecnologias com potencial para monitorizar a produtividade e a sua variabilidade espacial é um elemento fundamental para apoiar decisões mais sustentadas, assegurando a sustentabilidade económica e a mitigação do impacto ambiental da produção animal. Os resultados deste estudo exploratório na região Mediterrânica, com pastagens de sequeiro características do Montado, fornecem boas perspetivas para o sensor medidor de prato ascendente (RPM) como ferramenta expedita para estimar a produtividade (MS) a partir da medição da altura comprimida (H_{RPM}). Contudo, a influência da sazonalidade na precisão da estimativa mostra que este estudo se deve alargar a outros tipos de pastagem e durante um período mais longo (a abranger vários ciclos vegetativos da pastagem), para avaliar a estabilidade temporal do desempenho destes sensores. A criação de uma base de

dados mais vasta permitirá futuros desenvolvimentos em termos de modelos de estimativa da MS, nomeadamente, abordagens estatísticas mais completas, baseadas na inteligência artificial, na aprendizagem automática, ou outras. Simultaneamente, deve ser realizada uma análise custo-benefício para determinar o efetivo ganho para o agricultor da implementação destas novas tecnologias ao nível da exploração comercial. Finalmente, será importante a realização de demonstrações de campo que mostrem o potencial destas tecnologias e permitam a extensão aos principais interessados, os gestores agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado por fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) – Projeto UIDB/05183. Este trabalho foi também suportado pelo projeto “SUMO—Sustentabilidade do Montado” (Ref. PRR-C05-i03-I000066-LA 6.2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cárdenas, J.; Balocchi, O. & Calvache, I. (2020) - Calibration of the rising plate meter for mixed pastures of Ryegrass (*Lolium perenne* L.) and Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, vol. 36, n. 3, p. 216–223. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaas36-20crjc30020>
- Chapa, J.M.; Pichlbauer, B.; Bobal, M.; Guse, C.; Drillich, M. & Iwersen, M. (2023) - Field evaluation of a rising plate meter to estimate herbage mass in Austrian pastures. *Sensors*, vol. 23, n. 17, art. 7477. <https://doi.org/10.3390/s23177477>
- Efe Serrano, J. (2006) - *Pastures in Alentejo: Technical Basis for Characterization, Grazing and Improvement*; Universidade de Évora—ICAM, Ed.; Gráfica Eborense: Évora, Portugal, pp. 165–178.
- Fernández-Habas, J.; Moreno, A.M.G.; Hidalgo-Fernández, M.A.T.; Leal-Murillo, J.R.; Oar, B.A.; Gómez-Giráldez, P.J.; González Dugo, M.P. & Fernández-Rebollo, P. (2021) - Investigating the potential of Sentinel-2 configuration to predict the quality of Mediterranean permanent grasslands in open woodlands. *Science of The Total Environment*, vol. 791, art. 148101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148101>
- Gargiulo, J.; Clark, C.; Lyons, N.; Veyrac, G.; Beale, P. & Garcia, S. (2020) - Spatial and temporal pasture biomass estimation integrating electronic plate meter, Planet CubeSats and Sentinel-2 satellite data. *Remote Sensing*, vol. 12, n. 19, art. 3222. <https://doi.org/10.3390/rs12193222>
- Hutchinson, K.; Scobie, D.; Beutrais, J.; Mackay, A.; Rennie, G.; Moss, R. & Dynes, R. (2016) - A protocol for sampling pastures in hill country. *Journal of New Zealand Grasslands*, vol. 78, p. 203–210.
- Huyghe, C.; De Vliegher, A.; van Gils, B. & Peeters, A. (Eds.) (2014) - *Grasslands and Herbivore Production in Europe and Effects of Common Policies*; Quae: Versailles, France, p. 54–56.
- Lawson, A.R.; Giri, K.; Thomson, A.L.; Karunaratne, S.B.; Smith, K.F.; Jacobs, J.L. & Morse-McNabb, E.M. (2022) - Multi-site calibration and validation of a wide-angle ultrasonic sensor and precise GPS to estimate pasture mass at the paddock scale. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 195, art. 106786. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106786>
- Legg, M. & Bradley, S. (2020) - Ultrasonic arrays for remote sensing of pasture biomass. *Remote Sensing*, vol. 12, n. 1, art. 111. <https://doi.org/10.3390/rs12010111>
- Mas-Portocarrero, W.; Cuzco-Mas, E.; Mathios-Flores, M.A. & Angulo-Villacorta, C.D. (2022) - Evaluation of two methods for estimating dry matter availability in mixed pastures in the Amazon region Peru. *Pastos y Forrajes*, vol. 45, p. 1–8.
- Moeckel, T.; Safari, H.; Reddersen, B.; Fricke, T. & Wachendorf, M. (2017) - Fusion of ultrasonic and spectral sensor data for improving the estimation of biomass in grasslands with heterogeneous sward structure. *Remote Sensing*, vol. 9, n. 1, art. 98. <https://doi.org/10.3390/rs9010098>
- Murphy, D.J.; O’ Brien, B.; Hennessy, D.; Hurley, M. & Murphy, M.D. (2021a) - Evaluation of the precision of the rising plate meter for measuring compressed sward height on heterogeneous grassland swards. *Precision Agriculture*, vol. 22, n. 3, p. 922–946. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09765-9>
- Murphy, D.J.; Shine, P.; O’Brien, B.; O’Donovan, M. & Murphy, M.D. (2021b) - Utilising grassland management and climate data for more accurate prediction of herbage mass using the rising plate meter. *Precision Agriculture*, vol. 22, n. 1, p. 1189–1216. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09778-4>
- Murphy, D.J.; Murphy, M.D.; O’Brien, B. & O’Donovan, M. (2021c) - A review of precision technologies for optimising pasture measurement on Irish grassland. *Agriculture*, vol. 11, n. 7, art. 600. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070600>
- Nickmilder, C.; Tedde, A.; Dufasne, I.; Lessire, F.; Tychon, B.; Curnel, Y.; Bindelle, J. & Soyeurt, H. (2021) - Development of machine learning models to predict compressed sward height in Walloon pastures based on Sentinel-1, Sentinel-2 and meteorological data using multiple data transformations. *Remote Sensing*, vol. 13, n. 3, art. 408. <https://doi.org/10.3390/rs13030408>
- O’Donovan, M.; Dillon, P.; Rath, M. & Stakelum, G. (2002) - A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, vol. 41, n. 1, p. 17–27.

- Palma-Molina, P.; Hennessy, T.; Dillon, E.; Onakuse, S.; Moran, B. & Shalloo, L. (2023) - Evaluating the effects of grass management technologies on the physical, environmental, and financial performance of Irish pasture-based dairy farms. *Journal of Dairy Science*, vol. 106, n. 9, p. 6249–6262. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23111>
- Pullanagari, R.R.; Yule, I.J.; Tuohy, M.P.; Hedley, M.J.; Dynes, R.A. & King, W.M. (2012) - Proximal sensing of the seasonal variability of pasture nutritive value using multispectral radiometry. *Grass and Forage Science*, vol. 68, n. 1, p. 110–119. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00877.x>
- Schellberg, J.; Hill, M.J.; Gerhards, R.; Rothmund, M. & Braun, M. (2008) - Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, vol. 29, n. 2–3, p. 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- Serrano, J.; Shahidian, S.; Moral, F.; Carvajal-Ramirez, F. & da Silva, J.M. (2020) - Estimation of productivity in dryland Mediterranean pastures: Long-term field tests to calibration and validation of the Grassmaster II probe. *AgriEngineering*, vol. 2, n. 2, p. 240–255. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2020015>
- Serrano, J.; Carreira, E.; Shahidian, S.; de Carvalho, M.; Marques da Silva, J.; Paniagua, L.L.; Moral, F. & Pereira, A. (2023) - Impact of deferred versus continuous sheep grazing on soil compaction in the Mediterranean Montado ecosystem. *AgriEngineering*, vol. 5, n. 2, p. 761–776. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5020047>