

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM MEDIDOR DE CAPACITÂNCIA NUM PROJECTO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO EM PASTAGENS

CALIBRATION AND VALIDATION OF AN ELECTRONIC CAPACITANCE METER IN A PASTURE PRECISION AGRICULTURE PROJECT

JOÃO MANUEL SERRANO¹, JOSÉ OLIVEIRA PEÇA¹, PAULO PALMA²,
JOSÉ RAFAEL SILVA¹, MÁRIO CARVALHO²

RESUMO

O objectivo deste trabalho consistiu em calibrar uma sonda electrónica de capacitância para simplificar o processo de avaliação da pastagem num projecto de agricultura de precisão. O método tradicional de determinação da massa de pastagem exige um grande esforço e é incompatível com a gestão do dia a dia dos agricultores. Os ensaios foram realizados em diferentes datas do ano de 2007, em três explorações agrícolas, que representam as pastagens típicas do Alentejo (gramíneas; leguminosas; e mistura biodiversa). Foram utilizadas equações de regressão para relacionar a massa de matéria seca obtida na medição directa com as estimativas indirectas obtidas nas leituras de capacitância. Em dois dos três locais os coeficientes de determinação foram elevados, 0,90 nas gramíneas e entre 0,67 e 0,75 na mistura biodiversa. Nas leguminosas o coeficiente de determinação variou entre 0,27 e 0,59. Em 2008 as equações de previsão foram validadas em dois dos locais, tendo-se obtido um desvio entre a massa efectivamente cortada e a massa estimada igual ou inferior a 20%.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Matéria seca; Medidor de capacitância; Pastagens.

¹ Universidade de Évora (UE), ICAM, Departamento de Engenharia Rural, Núcleo da Mitra, 7000 Évora, e-mail: jmrs@uevora.pt

² Universidade de Évora (UE), ICAM, Departamento de Fitotecnia, Núcleo da Mitra, 7000 Évora

Recepção/Reception: 2008.09.09
Aceitação/Acception: 2009.06.15

ABSTRACT

The general objective of the study was calibrate an electronic capacitance meter to estimating the pasture dry matter in a precision agriculture project. The standard method of assessing pasture requires great effort and farmers are not willing to make this effort in day-to-day management of pastures. The field tests for carrying out in different dates of 2007 and in three dairy farms, represents the typical pastures in Alentejo region (grasses; leguminous; and bio divers mixture). Regression techniques are used to relate the weight of the herbage in kg of dry matter for hectare to the meter reading of capacitance. The estimation of dry matter of the herbage mass, in kg ha⁻¹, based in capacitance was relatively good in two sites, with overall coefficients of determination of 0,90 in grasses and 0,67 to 0,75 in bio divers mixture. In the leguminous the coefficients of determination obtained varied between 0,27 and 0,59. In 2008, the regression equations were validated in two sites and the results showed a gap between the mass effectively cut and the estimated mass of less or equal to 20%.

Keywords: Precision Agriculture; Dry matter; Capacitance meter; Pastures.

INTRODUÇÃO

Com o apoio financeiro do programa AGRO do Ministério da Agricultura, foi estabelecido um projecto de três anos para demonstrar as técnicas e as tecnologias de agri-

cultura de precisão na gestão de pastagens - AGRO 390: “Demonstração de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes em pastagens” (Serrano *et al.*, 2007). Foram utilizados equipamentos para aplicação diferenciada de fertilizantes (tecnologia VRT, “Variable Rate Technology”), comandados por cartão de memória pré-programado em computador com coordenadas georeferenciadas pelo Sistema de Posicionamento Global diferencial (GPSd). Uma das perspectivas do projecto passava por avaliar o desempenho do distribuidor de adubo, a sua capacidade para dosear as quantidades desejadas de fertilizante no local adequado. Uma forma indirecta de o fazer consistia em monitorizar o desenvolvimento da pastagem.

A vantagem de transferir tecnologias tradicionalmente utilizadas nas culturas de cereais para as pastagens é um incentivo para as explorações agro-pecuárias extensivas e para a manutenção do montado, com grande importância na região Alentejo.

Os agricultores têm consciência da variabilidade da capacidade produtiva presente nas suas parcelas e baseiam as suas decisões na sua experiência e conhecimento técnico, tendo em vista a aplicação diferenciada de fertilizantes, correctivos e de sementes. O que não está normalmente disponível são os meios para actuarem em função da variabilidade, pelo que a solução passa por aplicar os factores de produção de forma uniforme, sem utilizar as técnicas de gestão de precisão. A tecnologia de agricultura de precisão produziu dois avanços: a possibilidade de identificar com precisão e representar em mapa a variação intra-parcelar e o desenvolvimento de tecnologia de aplicação variável de fertilizantes.

Quantificar o grau de variabilidade inerente ao ambiente natural é essencial para tomar decisões de gestão diferenciada. Existem na literatura vários métodos para a avaliação de forragem numa pastagem, sendo que são agrupados basicamente em método directo, ou corte, de toda a forragem contida numa área da pastagem amostrada, e métodos indirectos, que não causam danos à pastagem e

são rápidos, com menor exigência de mão de obra. O que se espera de qualquer um desses métodos é que se tenha uma representação de forma precisa das condições ou estado das pastagens, com baixo custo de operação e que tenha boa precisão (Zanine *et al.*, 2006).

O manejo da pastagem e o planeamento dos sistemas de produção animal para pastagens são essencialmente baseados na estimativa da produção e acumulação de massa de erva. Para o manejo correcto e eficiente dessas pastagens, o controlo da oferta de forragem é um ponto decisivo (Cauduro *et al.*, 2006).

O método standard para estimativa da massa de pastagem e de forragem baseado no corte da erva contida numa dada área é um método trabalhoso e demorado, especialmente na recolha de amostras que representem a pastagem, e os agricultores não têm disponibilidade para o usar na gestão do dia-a-dia das suas pastagens (Sanderson *et al.*, 2001).

Durante os passados anos 70, muitos métodos foram avaliados, dos mais simples até métodos electrónicos sofisticados. Alguns métodos, como o da sonda electrónica de capacitância, foram adaptados para uso comercial. O método da sonda relaciona as diferenças entre as constantes dieléctricas da erva e do ar. A sonda mede a capacitância da mistura ar-erva e permite o registo e armazenamento da capacitância e a realização de cálculos. A teoria e operação da sonda é explicada em detalhe por Currie *et al.* (1987). O funcionamento do medidor de capacitância é baseado num sinal produzido por um oscilador de circuito eléctrico, sendo os sinais captados pelo sensor de capacitância. Este mede a quantidade de carga eléctrica armazenada por dois condutores separados por um isolador (Zanine *et al.*, 2006). A sonda é composta por uma haste que possui uma camada externa de material isolante, uma segunda, interna, formada por um tubo de alumínio e uma terceira, mais interna, que corresponde ao condutor terra, feito de aço inoxidável, cuja ponta se projecta para fora da haste e serve para ser colocada em contacto com o solo ou com o ar para realizar as medições (Zanine

et al., 2006). Ao aparelho corresponde uma equação de calibração. Quando o aparelho é calibrado determinam-se os parâmetros dessa equação, o que permite a leitura automática da quantidade de matéria seca (MS) por unidade de área (kg MS ha⁻¹).

A previsibilidade a partir de equações lineares simples apresenta variações consoante a época do ano, verificando-se, por exemplo, na Flórida quebra da fiabilidade das previsões no Verão, quando vários factores meteorológicos e micro-climatológicos podem perturbar as leituras da sonda de capacitância. Quando a vegetação é mais homogénea e com menores variações do teor de humidade as previsões da massa de pastagem baseadas nas leituras da sonda de capacitância são mais fiáveis (Terry *et al.*, 1981).

Currie *et al.* (1987) estabeleceram equações de regressão lineares entre as leituras da sonda de capacitância e a massa de forragem em verde e em seco, cortada em amostras circulares com 78,5 cm² de área. Foi obtido o coeficiente de determinação global (r²) de 0,50 para equações do tipo linear, estatisticamente significativas, para todas as regressões.

Dado que a relação entre a massa de forragem e as leituras da sonda electrónica de capacitância variam com factores como o estado de desenvolvimento das plantas, o seu teor de humidade, a relação entre matéria verde e matéria seca e com o tipo de pastoreio, as equações de calibração deverão ser desenvolvidas separadamente, para diferentes circunstâncias (Hirata, 2000).

Os resultados apresentados por Currie *et al.* (1987) mostraram diferenças entre estados fenológicos das plantas e recomendam o desenvolvimento de novas curvas de calibração para cada data de amostragem e localização. Esta recomendação é, contudo, contrária à de Currie *et al.* (1987) que sugerem o desenvolvimento e utilização de uma curva padrão.

Hirata (2000) verificou a existência de uma relação linear entre a massa de erva cortada e a capacitância para determinado período do ano e quadrática noutro.

Cauduro *et al.* (2006) avaliaram e compararam a eficiência de três métodos indirectos: do disco medidor de forragem, do bastão graduado e do medidor de capacitância na predição da massa de pastagem de azevém anual. O medidor de capacitância apresentou o coeficiente de determinação mais baixo (r²=0,149) e o mais elevado coeficiente de variação (CV=31,54%). As medições basearam-se apenas nos valores médios da massa de matéria seca de pastagem, em kg ha⁻¹, de 5 pontos de amostragem realizada de forma aleatória.

Zanine *et al.* (2006) verificaram que a precisão do medidor de capacitância é muito afectada pelo tipo de pastagem e pelo seu conteúdo em humidade.

Os medidores comerciais são fornecidos com equações de calibração; contudo, a precisão destas equações não foi avaliada nas condições das pastagens mediterrânicas.

O interesse deste processo de avaliação e calibração permanece actual visto que cada pastagem é um ecossistema diferente, com características específicas, que variam nos diferentes estados vegetativos das plantas e em função do tipo de pastoreio. Trabalhos como os de Hirata (2000), Silva & Cunha (2003), Zanine *et al.* (2006), Cauduro *et al.* (2006) demonstram este interesse, não havendo registo em Portugal de qualquer trabalho sistemático com este equipamento.

No contexto referido, o objectivo deste trabalho consistiu em calibrar uma sonda electrónica de capacitância para simplificar o processo de avaliação das pastagens típicas do Alentejo, num projecto de agricultura de precisão no contexto edafo-climático mediterrânico.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das pastagens

Foram seleccionadas três tipos de pastagens diferentes, representativas das pastagens semeadas do Alentejo:

- na Herdade da Mitra- pastagem exclusiva de leguminosas (trevos, *Trifolium*

subterraneum L.), sujeita a pastoreio de bovinos de carne;

- na Herdade dos Currais- pastagem exclusiva de gramíneas (azevém anual, *Lolium multiflorum* Lam.); este tipo de pastagem não é sujeita a pastoreio, sendo cortada para feno ou ensilar;
- na Herdade do Barrocal- pastagem biodiversa de gramíneas e de leguminosas (*Trifolium glanduliferum* Boiss., *Orni-*

thopus sativus Brot., *Trifolium incarnatum* L., *Trifolium vesiculosum* Savi, *Trifolium subterraneum* L., *Lolium multiflorum* Lam. e *Dactylis glomerata* L.), submetida a pastoreio por ovinos.

O Quadro 1 apresenta as coordenadas geográficas dos locais de ensaio, assim como a composição florística média da pastagem respectiva.

Quadro 1 – Coordenadas geográficas e composição florística da pastagem nos 3 locais de ensaio.

Local	Latitude	Longitude	Gramíneas (%)	Leguminosas (%)	Outras (%)
Mitra	38° 32,2' N	8° 01,1' W	0	100	0
Currais	38°30,1'N	7°48,6'W	100	0	0
Barrocal	38° 32,4' N	8° 02,4' W	46	40	14

Descrição do equipamento

O equipamento electrónico – sonda “Grass-Master II”, da marca Speedrite (Figura 1) é leve e facilmente portátil, sendo semelhante ao utilizado por Cauduro *et al.* (2006), cujo princípio de funcionamento se baseia na diferença entre constantes dieléctricas: a do ar, que é alta e a da pastagem, que é baixa. Antes de qualquer recolha de informação com a sonda, para cada amostra deve ser realizada uma prova para correcção do teor de humidade do ar. Em seguida, o aparelho deve ser posicionado verticalmen-

te sobre a vegetação, afastado 20 a 30 cm do corpo do operador. O sensor efectua medições numa área circular em torno do bastão, com um diâmetro de 100 mm e até uma altura do solo de cerca de 400 mm. Na consola do aparelho é desejável proceder à programação de uma equação que transforme as medições de capacitância realizadas pelo sensor em massa de matéria seca da pastagem. A sonda utiliza um circuito electrónico de registo de dados que permite a organização das leituras por parcelas e a transferência para um computador de bancada para posterior tratamento dos dados.



Figura 1 – Consola da sonda de capacitância “GrassMaster II” (à esquerda); medições numa caixa de exclusão de pastoreio durante o ensaio (à direita).

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E ESTATÍSTICOS

Procedimento de calibração

Tradicionalmente, a quantificação da matéria seca de pastagem é realizada com base no seguinte protocolo:

- instalação de caixas de exclusão de pastoreio com 1m² de área no início do ciclo vegetativo da cultura (Setembro), em diferentes locais georeferenciados da parcela (Figura 1);
- corte manual da pastagem sempre que o seu desenvolvimento o justifica, correspondente a 2 a 4 cortes (entre Janeiro e Maio), consoante o ano agrícola em termos de temperatura e precipitação (Figura 2);
- em laboratório: pesagem, desidratação em estufa durante 72 horas a 65°C e nova pesagem para obtenção da quantidade de matéria verde total, da percentagem de matéria seca e da quantidade de matéria seca total.



Este procedimento é pouco expedito e muito exigente em meios humanos, incompatível com um projecto de gestão assente na nova filosofia de *Agricultura de Precisão*.

A utilização de uma sonda de capacitância para obtenção de informação que caracterize o teores de matéria seca de uma pastagem de forma não destrutiva e com redução da logística envolvida exige, segundo todos os estudos, a calibração da mesma para cada tipo de pastagem. A Figura 3 comprova esta necessidade de calibração: à esquerda é apresentado o mapa de produção de matéria seca (MS, em kg ha⁻¹) prevista pela sonda “GrassMaster II” na pastagem da Herdade da Revilheira em Março de 2007 (campo experimental do projecto Agro 390), com base nas medições de capacitância (C) e na equação de calibração fornecida pelo fabricante (MS=0,72C-2200). Para obtenção desta informação georeferenciada foi utilizada a sonda GrassMaster II associada a um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global, por satélite). À direita é apresentado o mapa da matéria seca (em kg ha⁻¹) efectivamente produzida pela pastagem, obtido pelo método tradicional de recolha de amostras georeferenciadas por corte e tratamento em laboratório.



Figura 2 – Georeferencição dos locais para instalação das caixas de exclusão de pastoreio (à esquerda); recolha de amostras de pastagem pelo método tradicional de corte (à direita).

A calibração decorreu em duas fases diferentes do desenvolvimento da cultura: a primeira no início da Primavera (final de Março), numa fase de desenvolvimento de pré-floração, tendo-se recolhido 6 amostras em pontos aleatórios de cada local. A segunda no final da

Primavera (meados de Maio), após a floração, no final do ciclo vegetativo, tendo-se também recolhido 6 amostras em pontos aleatórios de apenas dois dos três locais, uma vez que na Herdade dos Currais o agricultor já tinha procedido ao corte total da forragem.

A validação da calibração decorreu na Primavera do ano seguinte (2008), tendo-se recolhido 3 amostras em pontos aleatórios dos dois locais referidos. Na Herdade dos Currais não foi possível proceder à validação uma vez que o agricultor procedeu à instalação de uma cultura diferente.

Em cada ponto de amostragem foi fixado um quadro de metal de área 1m² e, na área delimitada pelo quadro, foram realizadas, antes do corte da vegetação, as observações com a sonda.

Na primeira fase de recolha de dados foi 30 o número de leituras realizadas pela sonda para cada amostra de 1m² de pastagem, cumprindo o que o fabricante do equipamento sugere para obter uma média estatisticamente significativa. Em face da análise dos resultados, foi possível reduzir o número de leituras com a sonda para 10 por cada amostra de 1m² de pastagem. Antes de qualquer recolha de

informação com a sonda, para cada amostra foi realizada uma prova para correcção do teor de humidade do ar. Depois do aparelho ser posicionado na vegetação procedeu-se ao registo das leituras e ao registo da média do valor de massa de matéria seca.

Em laboratório as amostras foram sujeitas a avaliação quantitativa (pesagem, desidratação durante 72 horas a 65°C e nova pesagem) da massa verde de pastagem e respectivo teor de humidade e ainda a avaliação qualitativa, procedendo-se à separação manual das diferentes espécies botânicas para estabelecimento da composição florística.

A calibração da sonda foi efectuada a partir do estabelecimento de equações de regressão entre a medição indirecta, fornecida pela sonda electrónica de capacitância e a medição directa da matéria seca da pastagem obtida por corte, na área de 1m² delimitada pelo quadro de metal.

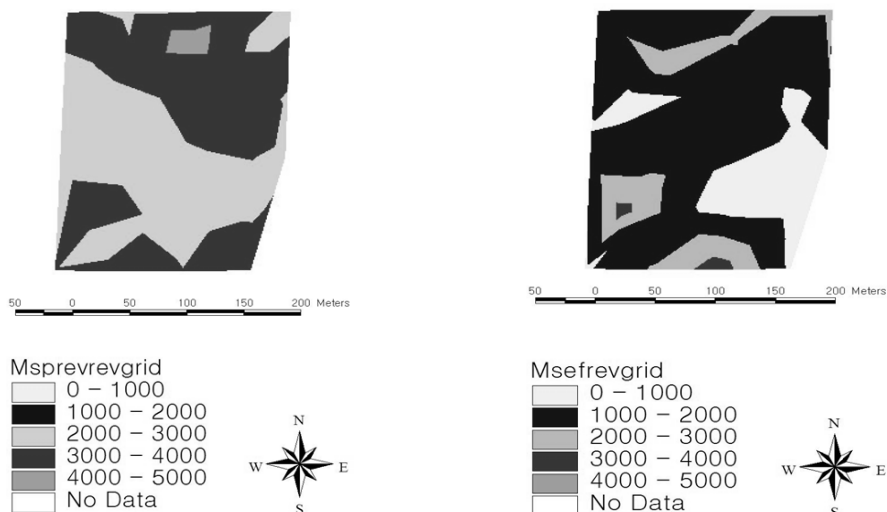


Figura 3 – Mapa de produção de matéria seca (kg ha⁻¹) da pastagem da Herdade da Revilheira: à esquerda -previsão obtida com a equação de calibração do fabricante da sonda “GrassMaster”; à direita- medição efectiva pelo método tradicional.

O Quadro 2 resume as datas, o intervalo de teores de matéria seca, o número de repetições e o número de leituras realizadas em cada local de ensaio.

Na primeira fase, para além de se procurarem obter dados para estabelecimento de

equações de calibração do equipamento, com a realização de 30 medições em apenas 1m² procurou-se determinar o número mínimo de medições a realizar com a sonda “GrassMaster II” para obtenção de uma média representativa da amostra.

Quadro 2 – Datas, matéria seca, número de repetições e de leituras realizadas em cada local de ensaio.

Local	Data	MS (%)	Número de repetições	Número de leituras realizadas pela sonda em cada repetição
Mitra	29/03/2007	[10-16]	6	30
	10/05/2007	[13-18]	6	10
	10/05/2008	[24-30]	3	10
Currais	29/03/2007	[21-28]	6	30
Barrocal	29/03/2007	[15-19]	6	30
	24/04/2007	[17-23]	6	10
	24/04/2008	[32-38]	3	10

MS- teor de matéria seca da pastagem (%);

Tratamento estatístico

O tratamento estatístico dos resultados consistiu em análises de regressão até terceira ordem, com nível de 5% de probabilidade, tendo sido utilizado o programa de estatística “MSTAT-C”.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Quadro 3 mostra a média e o coeficiente de variação da capacitância medida pela sonda em cada um dos locais de ensaio, em 29/03/2007, em função do número de leituras. É apresentado também o desvio percentual da média obtida com 20, 10 e 5 leituras, relativamente à média obtida com 30 leituras.

A média da capacitância obtida com 20 e com 10 leituras apresenta uma variação menor do que 6 e 8%, respectivamente, re-

lativamente à média obtida com 30 leituras. A redução de 30 para 5 leituras pode causar variações na média superiores a 20% relativamente à média obtida com 30 leituras. Por esta razão, na calibração (primeira e segunda época de recolha de dados de 2007) foram consideradas apenas 10 leituras em cada repetição de 1m² e na validação (recolha de dados de 2008) foi efectuado o mesmo número de leituras (10), o que reduziu substancialmente o tempo envolvido neste processo.

O Quadro 4 apresenta os coeficientes das equações de regressão (“a” ou valor da ordenada na origem e “b” ou declive da recta) e os coeficientes de determinação das equações lineares ajustadas entre a capacitância (C), obtida com 10 observações e a massa de matéria seca da pastagem (MS), em kg ha⁻¹ (equação 1):

$$MS=a+b*C \quad (1)$$

Quadro 3 – Média e coeficiente de variação da capacitância medida pela sonda em cada um dos locais de ensaio, em 29/03/2007, em função do número de leituras.

Local	Número de leituras	Capacitância	Repetições					
			1	2	3	4	5	6
Mitra	30	Média (M ₃₀)	6536	7255	8978	9059	9568	6253
		CV (%)	21	20	13	17	17	20
	20	Média (M ₂₀)	6353	7355	8837	8889	9450	6397
		CV (%)	23	19	11	19	17	21
	10	Desvio M ₃₀ (%)	-2,8	1,4	-1,6	-1,9	-1,2	2,3
		Média (M ₁₀)	6858	7825	8628	8532	9734	6542
	5	CV (%)	21	16	12	10	15	18
		Desvio M ₃₀ (%)	4,9	7,9	-3,9	-5,8	1,7	4,6
		Média (M ₅)	6414	7661	8410	9005	9556	7039
		CV (%)	12	18	17	7	18	13
		Desvio M ₃₀ (%)	-1,9	5,6	-6,3	-0,6	-0,1	12,6
		Currais	Média (M ₃₀)	8081	8567	7223	6374	5272
CV (%)	19		18	15	19	20	19	
20	Média (M ₂₀)	8129	8556	7037	6753	5311	5112	
	CV (%)	20	21	16	17	19	20	
10	Desvio M ₃₀ (%)	0,6	-0,1	-2,6	5,9	0,7	0	
	Média (M ₁₀)	8076	8471	6977	6852	5442	4791	
5	CV (%)	23	24	20	18	20	22	
	Desvio M ₃₀ (%)	-0,1	-1,1	-3,4	7,5	3,2	-6,2	
	Média (M ₅)	7297	8254	6920	7057	5473	4811	
	CV (%)	29	19	25	25	19	23	
	Desvio M ₃₀ (%)	-9,7	-3,7	-4,2	10,7	3,8	-5,9	
	Barrocal	Média (M ₃₀)	4675	4996	5686	5510	5729	6225
CV (%)		15	19	13	19	14	17	
20	Média (M ₂₀)	4487	4946	5662	5664	5688	6017	
	CV (%)	14	16	11	18	14	17	
10	Desvio M ₃₀ (%)	-4,0	-1,0	-0,4	2,8	-0,7	-3,3	
	Média (M ₁₀)	4485	4906	5500	5900	5865	5998	
5	CV (%)	14	15	12	21	16	17	
	Desvio M ₃₀ (%)	-4,1	-1,8	-3,3	7,1	2,4	-3,6	
	Média (M ₅)	4362	5321	5354	6771	5426	6426	
	CV (%)	12	5	17	12	21	12	
	Desvio M ₃₀ (%)	-6,7	6,5	-5,8	22,9	-5,3	3,2	

M30, M20, M10, M5- Média das leituras efectuadas pela sonda, respectivamente, 30, 20, 10 e 5 leituras;
CV- coeficiente de variação (%); Desvio M30 (%) - Desvio percentual da média relativamente à média obtida com 30 leituras.

A estimativa foi relativamente boa em dois dos locais, com coeficientes de determinação entre 0,67 e 0,90, respectivamente na mistura biodiversa e nas gramíneas. O que confirma os resultados de Hirata (2000), o qual registou coeficientes de determinação entre 0,88 e 0,98.

Nas leguminosas, a sonda apresentou valores inferiores de coeficientes de determinação, 0,59 e 0,27, respectivamente na primeira e na segunda datas de avaliação. Os resultados da segunda data de avaliação neste local são ainda mais surpreendentes pelo facto de,

ao contrário dos restantes, se verificar uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de matéria seca da pastagem e a capacitância medida pela sonda (declive da recta negativo). Este comportamento é, apesar de tudo validado pelos ensaios de 2008 (Quadro 5), já que a equação de regressão de 2007 permitiu prever a quantidade de matéria seca presente na pastagem em 2008, com um desvio inferior a 20%. Podem ser apresentadas diferentes justificações para este comportamento da sonda, entre os quais surge na

bibliografia a questão da variabilidade da humidade do ar e da forragem e a irregularidade do solo, especialmente resultante do pisoteio pelo gado bovino. Zanine *et al.* (2006) refe-

rem ainda o efeito resultante dos diferentes estados de maturidade das plantas, os quais, se não forem homogéneos apresentam uma influência decisiva no teor de humidade.

Quadro 4 – Coeficientes das equações lineares ajustadas entre a matéria seca da pastagem (kg ha^{-1}) e a capacitância resultante de 10 leituras da sonda (equação 1).

Local	Data	a	b	r^2
Mitra	29/03/2007	-325,91	0,3837	0,59
	10/05/2007	2610,00	-0,1407	0,27
Currais	29/03/2007	-982,3	0,3665	0,90
	29/03/2007	-1422,10	0,4236	0,67
Barrocal	24/04/2007	-457,69	0,3071	0,75

Quadro 5 – Validação da previsão em dois locais: desvio entre a estimativa das equações de regressão (MS_{est}) e a matéria seca efectiva (MS_{efe}) da pastagem em 2008.

Local	Data	Repetição	Capacitância média	MS_{est}^* (kg ha^{-1})	MS_{efe} (kg ha^{-1})	Desvio (%)
Mitra	10/05/2008	1	8879	3081	3699	-20,1
		2	9005	3129	3512	-12,2
		3	7072	2384	2868	-20,1
Barrocal	24/04/2008	1	5507	1233	1277	-3,5
		2	4305	865	1030	-19,2
		3	5731	1302	1166	10,5

*Equação de previsão de 10/05/2007 (Mitra) e de 24/04/2007 (Barrocal).

As Figuras 4 a 6 ilustram a regressão entre a capacitância e a massa de matéria seca da pastagem, em kg ha^{-1} , nos três locais.

Estes resultados demonstram o potencial deste equipamento na simplificação do processo de amostragem de pastagens e forragens no Alentejo, o que poderá representar um importante contributo para os agricultores, no manejo dos seus efetivos pecuários e uma ferramenta interessante na perspectiva de monitorização da variabilidade espacial e temporal destas culturas, primeiro passo no âmbito de projectos de agricultura de precisão. Estes resultados, apesar de serem em causa as conclusões de Cauduro *et al.* (2006), que obtiveram coeficientes de determinação muito baixos (0,149) para pastagem de azevém com um reduzido número de amostra-

gens realizadas pela sonda (5) e com factores susceptíveis de erro, como a existência de elevada quantidade de material vegetal morto na forma de palha à superfície do solo, validam os resultados citados por outros autores: por exemplo, Murphy *et al.* (1995) obtiveram coeficientes de determinação de 0,42, enquanto Coleman & Forbes (1998, cit. por Hirata, 2000) obtiveram coeficientes de determinação entre 0,27 e 0,77, para diferentes espécies de pastagem. Também Hirata (2000) confirmou o interesse da sonda electrónica de capacitância como método indirecto de estimativa da produção de matéria seca de uma pastagem de “Bahia grass” (*Paspalum notatum* Flueggé), pastoreada por bovinos, tendo obtido coeficientes de determinação elevados (0,88 a 0,98).

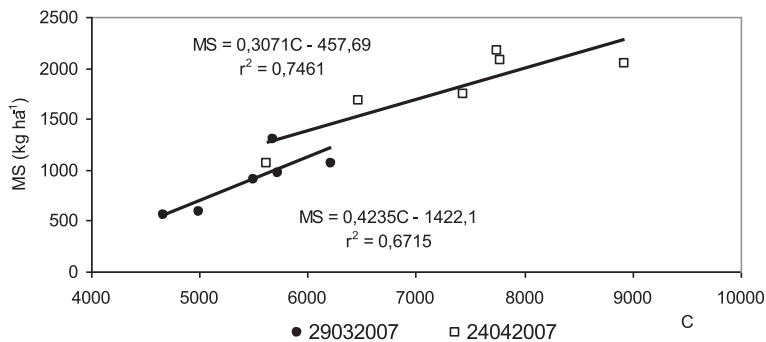


Figura 4 – Regressão entre a capacidade (C) e a matéria seca (MS), na Herdade do Barrocal, em duas datas.

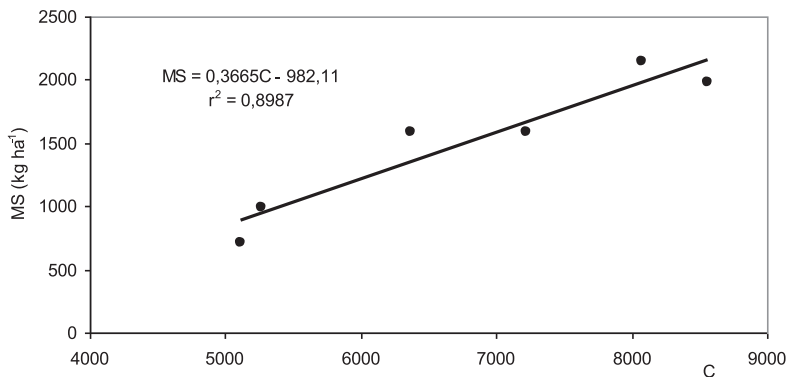


Figura 5 – Regressão entre a capacidade (C) e a matéria seca (MS), na Herdade dos Currais (29/03/2007).

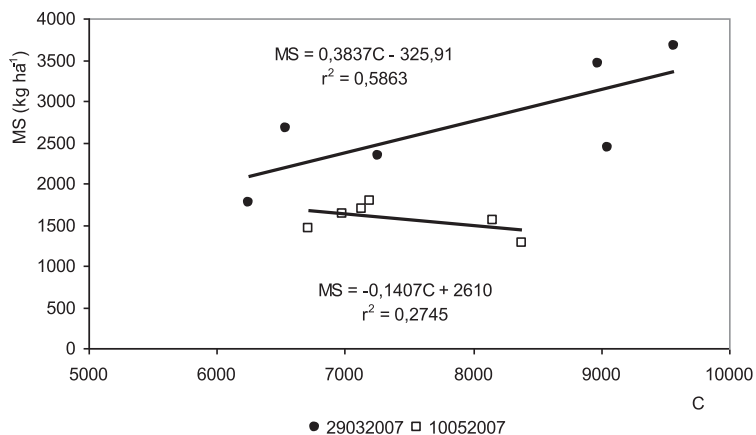


Figura 6 – Regressão entre a capacidade (C) e a matéria seca (MS), na Herdade da Mitra em duas datas.

Naturalmente que se justifica a contínua aferição do sistema, não só pela comprovada variabilidade de produção de matéria seca da pastagem no ecossistema mediterrânico (Figura 3), mas também por forma a dar resposta a um leque tão diversificado quanto possível de espécies botânicas existentes na flora mediterrânica. A associação de uma sonda de capacitância a uma antena GPS e o posterior tratamento num Sistema de Informação Geográfico (SIG) permite produzir em tempo real, mapas da capacidade produtiva da pastagem (Figura 3), o que facultava ao agricultor uma ferramenta muito interessante no apoio à tomada de decisão.

CONCLUSÕES

Foram utilizadas equações de regressão para relacionar a massa de matéria seca obtida na medição directa com as estimativas indirectas obtidas nas leituras de capacitância. Em dois dos três locais de ensaio com pastagens típicas do Alentejo, os coeficientes de determinação foram elevados, 0,90 nas gramíneas e entre 0,67 e 0,75 na mistura biodiversa. Nas leguminosas o coeficiente de determinação variou entre 0,27 e 0,59.

Em 2008 as equações de previsão foram validadas em dois dos locais, tendo-se obtido um desvio entre a massa efectivamente cortada e a massa estimada igual ou inferior a 20%.

Estes resultados demonstram o potencial deste equipamento na simplificação do processo de amostragem de pastagens e forragens no Alentejo, o que poderá representar um importante contributo para os agricultores, no manejo dos seus efectivos pecuários e uma ferramenta interessante na perspectiva de monitorização da variabilidade espacial e temporal destas culturas, primeiro passo no âmbito de projectos de agricultura de precisão.

O grau de incerteza associado à calibração e validação desta sonda de capacitância justifica a realização de mais ensaios, que

permitam, não só uma maior robustez da predição nas condições típicas de desenvolvimento de pastagens no Alentejo, mas também o alargamento a pastagens de outras zonas do país.

AGRADECIMENTOS

Ao programa AGRO do governo português, pelo financiamento do projecto 390.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cauduro, G. F.; Carvalho, P.; Barbosa, C.; Lunardi, R.; Pilau, A.; Freitas, F. & Silva, J. (2006) - *Comparação de métodos de medida indirecta de massa de forragem em pasto de azevém anual (Lolium Multiflorum Lam.)*. Ciência Rural, Setembro-Outubro, ano/vol. 36, número 005, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, 1617-1623.
- Currie, P. O.; Hilken, T. O. & White, R. S. (1987) - Evaluation of a Single Probe Capacitance Meter for Estimating Herbage Yield. *Journal of Range Management* 40(6), November: 537-541.
- Hirata, M. (2000) - Quantifying spatial heterogeneity in herbage mass and consumption in pastures. *Journal of Range Management* 53(3), May 2000: 315-321.
- Murphy, W. M.; Silman, J. P. & Barreto, A. D. (1995) - A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadowgrass-dominant white clover sward. *Grass Forage Science* 50: 422-445.
- Sanderson, M. A.; Rotz, C. A.; Fultz, S.W. & Rayburn E. B. (2001) - Estimating Forage Ass with a Commercial Capacitance Meter, Rising Plate Meter, and Pasture Ruler. *Agronomy Journal* 93: 1281-1286.
- Serrano, João M.; Peça, José O.; Silva, J. Marques; Serrazina, Hugo & Mendes, Jorge (2007). Avaliação de um distribui-

- dor centrífugo de adubo na perspectiva de utilização em agricultura de precisão. Jornadas ICAM: Inovação Tecnológica nos Sistemas Agrícolas Mediterrânicos, 15 e 16 de Dezembro, Universidade de Évora. *Revista de Ciências Agrárias* XXX, Nº1, Janeiro-Junho: 79-87.
- Silva, S. C. & Cunha, W. F. (2003) - *Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de Cynodon spp.*. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 38, n.8, Agosto, pp. 981-989.
- Terry, W. S.; Dennis H. H. & Swindel, B. F. (1981) - Herbage Capacitance Meter: an Evaluation of Its Accuracy in Florida Rangelands. *Journal of Range Management* 34(3), May: 240-241.
- Zanine, A. M.; Santos, E. M. & Ferreira, M. (2006) - Principales métodos de evaluación de pasturas. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, España, Vol. VII, Nº 10, October, 13p. (in spanish).