

VINHOS QUE PENSAM - parte I|III

GESTÃO DO VIGOR VEGETATIVO DA VINHA A PARTIR DE SENSORES ATIVOS MULTIESPECTRAIS PRÓXIMOS

Por: J. R. Marques da Silva^{1*}, José Maria Terron², Adélia Sousa³, Paulo Mesquita⁴, Filipe Vieira⁵, Jorge Blanco⁶, João Serrano⁷, Luís Leopoldo Silva⁸, Renato Coelho⁹, Carlos Alexandre¹⁰ e Fátima Baptista¹¹

A TÍTULO DE PREÂMBULO

Costumo dizer que o projeto “Vinhos que pensam” nasceu de um aperto de mão entre a equipa de Agricultura de Precisão da Universidade de Évora e a Fundação Eugénio de Almeida, nasceu sem financiamento próprio mas com uma visão muito clara de criar valor social na área da vitivinicultura Alentejana. Passados 6 anos, julgamos que o conhecimento produzido é relevante para a atividade e gestão vitivinícola Alentejana, no entanto, novas perguntas surgem todos os anos e dessa forma somos alimentados na motivação de prosseguir com este projeto, ao qual, outras entidades e vontades se vão agora também associando.

A Agrobótica, muito recentemente, desafiou-nos a apresentar os resultados mais relevantes do projeto “Vinhos que pensam” e com o maior prazer lhe dissemos que sim, no entanto, colocou-se-nos um problema, os resultados mais relevantes, muito dificilmente caberiam num único artigo, como tal, decidimos dividir tais resultados em três artigos, este primeiro mais virado para os aspetos da gestão do vigor da vegetação da vinha; o segundo mais virado para os sensores geoeletrônicos do solo e sua aplicação

na gestão e estudo do solo; e por fim, um terceiro mais virado para aspetos da nutrição das plantas considerando a interação solo/planta e a utilização dos sensores multiespectrais.

INTRODUÇÃO

A utilização de sensores multiespectrais na agricultura tem despertado muita curiosidade pelo facto de que, a partir destes, se poderá estimar variáveis biofísicas da vegetação, tais como o vigor, a forma, a área, a condição, etc.. Dobrowski *et al.* (2002) a partir de fotografias aéreas multiespectrais de videira mostrou que havia uma relação entre a densidade do copado e o Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) ou o Índice de Vegetação Razão (RVI). Johnson *et al.* (2003), utilizando imagens IKONOS de alta resolução, também conseguiu relacionar em videiras, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) com o índice de área foliar (LAI) e, assim, foi capaz de acompanhar o crescimento da planta e temporalmente a necessidade de água das mesmas. Outros estudos mostraram também grande potencial na caracterização do copado da videira, tentando descrever pela refletância o copado, a produ-

ção e consequentemente, as zonas homogêneas de tratamento de forma a otimizar a gestão (Montero *et al.*, 1999; Johnson *et al.*, 2001; Hall *et al.*, 2002, 2003; Dobrowski *et al.*, 2003; Johnson, 2003; Johnson *et al.*, 2003; Pedroso *et al.*, 2010).

Dados de sensores transportados por via aérea são normalmente limitados pelas condições meteorológicas, pelo tempo de revisita, pela resolução espacial e pela dinâmica das sombras na entre-linha da vinha, como tal, exigem passos adicionais ao nível do processamento das imagens para que se possa produzir mapas realistas das assinaturas espectrais das plantas. Devido a estas dificuldades e de acordo com Bausch e Delgado (2003) os sensores próximos terrestres são uma tecnologia emergente projetada para superar muitas das limitações associadas aos sensores transportados por satélite ou avião.

Sensores próximos terrestres também se podem dividir em passivos (os que normalmente usam a luz ambiente, neste caso do Sol) e os ativos (os que usam uma fonte de luz própria, normalmente modulada). Stamatiadis *et al.*, (2010) comparou o potencial dos sensores ativos e passivos na previsão de produção de biomassa numa varie-

¹Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, P. O. BOX. 94, 7002 - 554 Évora, Portugal, Tel: (+351) 266760823, Fax: (+351) 266711189 / ²Departamento de Cultivos Extensivos, Instituto de Investigaciones Agrarias Finca “La Orden-Valdesequera”, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) - Gobierno de Extremadura, Badajoz, España. / ³ICAAM, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas. / ⁴CITI, Centro de Inovação em Tecnologias de Informação, Évora, Portugal.

dade de vinha *Merlot* e concluiu que ambos os sensores podem ser usados para melhorar as práticas de gestão diferenciada das vinhas. No entanto, os sensores passivos necessitam de ser calibrados com frequência, a fim de superar os problemas da cobertura de nuvens, da hora do dia, do nível de radiação e da limitação imposta pelas sombras das videiras. Os sensores ativos não necessitam de calibração frequente e podem funcionar igualmente bem em todas as condições de luz (inclusive de noite). Stamatidis *et al.*, (2010) também discutiu o facto de que os sensores passivos próximos são mais sensíveis ao efeito de saturação do índice de vegetação NDVI, não distinguindo diferenças no copado sob condições de crescimento elevado, resultando numa relação quadrática entre o índice de vegetação NDVI e a biomassa da videira. Com os sensores ativos esta relação é mais do tipo linear, devido ao facto de estes sensores não tenderem para a saturação em condições de níveis de vegetação elevada.

Em virtude dos sensores multiespectrais ativos próximos podem determinar a variabilidade do vigor vegetativo ao longo da campanha, ultrapassando as limitações apresentadas anteriormente, o objetivo do trabalho que aqui se apresenta de seguida passou: i) por durante três campanhas, estudar a variabilidade espacial e temporal do vigor da vegetação de uma vinha de 80 ha, com um sensor multiespectral ativo; e ii) face aos resultados anteriores delimitar zonas de gestão para a mesma.

DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E METODOLOGIAS

O estudo foi conduzido na vinha do Casito com uma área de 80 ha (Lat: 38° 32' 37,87" N, Long: 52° 7' 11,00" W), situada na herdade de Pinheiros, em Évora, propriedade da Fundação Eugénio de Almeida. As diferentes castas presentes na vinha poderão ser consultadas nas Tabela 1 e Figura 1.

O clima é temperado, com características tipicamente mediterrâneas, com verões quentes e secos; invernos frios e húmidos e outonos e primaveras com temperaturas moderadas.

A precipitação média anual ronda os 550-650 mm e normalmente concentra-se no inverno. A temperatura média do ar é de 16° C. A temperatura máxima absoluta média é de cerca de 21° C, com um máximo absoluto de 42° C. A temperatura mínima absoluta média é de cerca de 12° C, com um mínimo absoluto de -5° C. O número de horas de sol desta região ronda as 3.000 horas por ano, apresentando os valores mais elevados nos 3 meses que antecedem a colheita. A vinha é irrigada deficitariamente e dependendo do ano poderemos ter entre 50 a 100 mm de dotação de rega.

Um GNSS topográfico RTK 5700 da Trimble foi utilizado para efetuar o modelo digital do terreno da vinha com uma densidade aproximada de 5 m na linha e na entrelinha. Os erros horizontais e verticais deste sistema foram menores a 0,02 m na planimetria e 0,04 m na altimetria. O modelo digital do terreno foi efetuado por interpolação linear derivando posteriormente a partir deste o declive e a orientação da encosta. A topografia desta vinha pode ser caracterizada como ondulada tendo altitudes que variam dos 239 m aos 261 m (Figura 1a). A inclinação não é muito elevada, variando aproximadamente entre 0% e 10% (Figura 1c). A orientação de encosta é predominantemente de sul para noroeste (Figura 1d).

O solo superficial tem um nível de matéria orgânica normalmente inferior a 1,5%, com texturas arenosas a arenosas francas e um pH entre 6,0 e 7,5.

Com o objetivo de caracterizar a condutividade elétrica aparente (CEa) do solo da vinha utilizou-se um sensor geoeletrico (3150 Veris) e mapeou-se a CEa da mesma a uma profundidade de solo de cerca de 0,8 m. Com o auxílio deste sensor geoeletrico pudemos constatar que a CEa da vinha era relativamente baixa, indiciando um solo relativamente pobre, no entanto, em determinados sítios podem ser observadas pequenas bolsas de solo com CEa mais elevada, sinal de texturas locais mais argilosas.

Uma base de dados multispectral da vegetação foi construída utilizando para isso um sensor comercial OptRx (Ag Leader) e um GPS GeoXH da Trimble. Este sensor mede simultaneamente 3 bandas: i) Vermelho (RED) - 670 nm; ii) "RedEdge" - 728 nm; e iii) Infravermelho próximo (NIR) - 775 nm.

A partir das bandas espectrais anteriormente obtidas foi calculado um índice de vegetação normalizado (NDVI) considerando a seguinte expressão: $[(NIR - RED) / (NIR + RED)]$. Este índice foi utilizado pois normalmente está correlacionado com o vigor da vegetação e com a biomassa existente (Broge and Leblanc, 2000;

PARCELA	SUB-PARCELA	CASTA	ÁREA m ²	PARCELA	SUB-PARCELA	CASTA	ÁREA m ²
1	A	Merlot	14257	13	A	Trincadeira	37465
1	B	Syrah	12240	14	A	Trincadeira	19382
2	A	Syrah	927	14	B	Trincadeira	21862
2	B	Cab. Sauvignon	6565	15	-	Aragonês	41495
2	C	Tempranillo	18481	16	-	Alfrocheiro	42265
2	D	Aragonês	26719	17	A	Syrah	26712
3	-	Tinta Caiada	50442	17	B	Syrah	5814
4	-	Trincadeira	50034	18	A	Alicant Bouchet	34512
5	-	Aragonês	43014	18	B	Petit Verdot	977
6	-	Trincadeira	41625	19	A	Petit Verdot	7922
7	-	Trincadeira	40826	19	B	Cab. Sauvignon	23027
8	-	Alicant Bouchet	36096	20	A	Aragonês	5675
9	-	Trincadeira	44118	20	B	Cab. Sauvignon	1681
10	-	Aragonês	46274	21	-	Aragonês	27639
11	-	Alfrocheiro	35224	22	-	Syrah	35878
12	-	Aragonês	33158	23	-	Verdelho	13558
13	B	Trincadeira	351				



Tabela 1. Variedades e área das parcelas estudadas

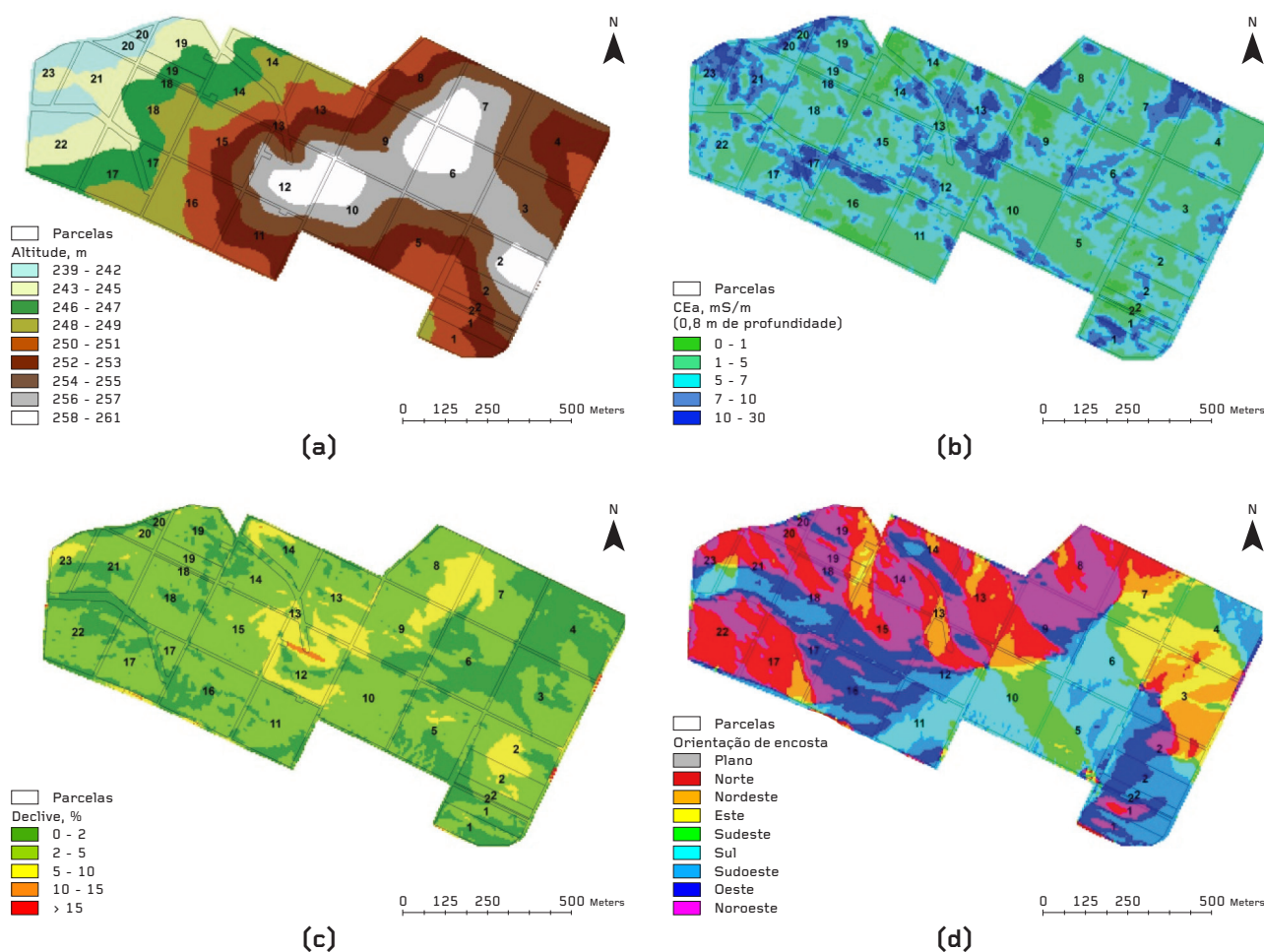


Figura 1. Caracterização fisiográfica e CEa da vinha do casito: (a) Modelo numérico do relevo, m; (b) Condutividade elétrica aparente do solo a 0,8 m de profundidade, mS m⁻¹; (c) Declive, %; (d) Orientação de encosta

Gitelson, 2004). O número de levantamentos efetuados nas três campanhas foi de: i) 19 em 2012; ii) 18 em 2013; e iii) 15 em 2014.

PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fatores controladores

Normalmente, em países mediterrânicos o ano médio não existe, sendo por isso mais importante entender os processos controladores que ocorrem nos anos extremos (ex. anos secos e anos húmidos) e como poderá ser observado pela Tabela 2, no decurso do estudo ocorreram 1 ano seco e dois anos húmidos.

Todos sabemos que secções diferentes dentro da mesma vinha podem produzir vinhos com características únicas e identidade própria. Para um

determinado local e, considerando todas as outras variáveis fixas, variações na gestão, na genética (Tabela 1), na elevação (Figura 1a), no declive (Figura 1c), na orientação de encosta (Figura 1d), no solo (Figura 1b) e no clima (Tabela 2) podem afetar espaço-temporalmente o vigor da vegetação e conseqüentemente a qualidade da uva para vinho.

Este fenómeno multifatorial é normalmente complexo e muito difícil de modelar. Apesar de aparentemente todos os fatores controladores da videira estarem controlados ainda é possível observar diferenças de comportamento das plantas no espaço e no tempo. A vinha consegue resolver os seus problemas hídricos e as suas deficiências nutricionais, explorando profundidades de solo normalmente não amostradas (devido a condicionamentos técnicos e económicos), como

tal, modelar o comportamento da planta tendo em conta os seus fatores limitadores torna-se na realidade muito difícil.

Face às questões levantadas anteriormente, a melhor maneira de verificar se uma planta está ou não confortável terá que passar por indicadores indiretos da mesma, como por exemplo o vigor da vegetação, se partirmos do princípio que em igualdades de circunstância uma planta vigorosa se encontra mais confortável com o meio envolvente do que uma planta menos vigorosa. A avaliação do vigor vegetativo no espaço e no tempo pode permitir conhecer como é que cada planta integra os seus próprios fatores limitantes e dessa forma, identificar áreas para uma gestão diferenciada, quer ao nível dos fatores de produção quer ao nível da qualidade da uva colhida para vinho.

MÊS	ANO	PREC. mm	ΣPREC. mm	ANO	PREC. mm	ΣPREC. mm	ANO	PREC. mm	ΣPREC. mm
setembro	2011	48.6	48.6	2012	62.4	62.4	2013	51.4	51.4
outubro	2011	49.0	97.6	2012	97.2	159.6	2013	162.4	213.8
novembro	2011	140.4	238.0	2012	167.6	327.2	2013	9.8	223.6
dezembro	2011	0.0	238.0	2012	92.6	419.8	2013	102.0	325.6
janeiro	2012	0.0	238.0	2013	86.0	505.8	2014	87.6	413.2
fevereiro	2012	2.4	240.4	2013	35.0	540.8	2014	142.0	555.2
março	2012	24.2	264.6	2013	255.0	795.8	2014	61.6	616.8
abril	2012	33.2	297.8	2013	37.2	833.0	2014	134.0	750.8
maio	2012	41.6	339.4	2013	20.8	853.8	2014	22.6	773.4
junho	2012	0.8	340.2	2013	5.4	859.2	2014	20.6	794.0
julho	2012	0.6	340.8	2013	0.6	859.8	2014	3.8	797.8
agosto	2012	3.4	344.2	2013	0.2	860.0	2014	0.0	797.8

*PREC. - Precipitação; *ΣPREC. - Precipitação cumulativa



Tabela 2. Precipitação mensal desde setembro de 2011 a agosto de 2014

Variação espacial e temporal do vigor da vegetação

Como foi mencionado na introdução, há muitos estudos e autores que relacionam o índice de vegetação NDVI com o vigor vegetativo da videira, onde valores elevados de NDVI (mais perto da unidade) indicam plantas vigorosas e saudáveis, e valores mais baixos (mais perto de 0) indicam plantas menos vigorosas e/ou em condições de stress.

As Figuras. 2a, 2b e 2c e para o ano de 2012, mostram a vinha do Casito em três diferentes períodos da sua fase de crescimento, podendo observar-se, sem grande dificuldade, que os valores de NDVI variam no espaço e no tempo. A vinha em 06/06/2012 (Figura 2a) mostra na generalidade um NDVI elevado com exceção de algumas parcelas (3, 7, 10, 12, 15 e 16). Note-se ainda que, den-

tro de cada parcela, a variabilidade espacial do NDVI pode ser também elevada, podendo ser encontrados dentro da mesma parcela valores relativamente pequenos e relativamente elevados (ex. Figura 2a, parcela 10). Em 28/07/2012 (Figura 2b), o vigor da vegetação da vinha diminuiu na generalidade, certamente devido ao maior stress hídrico, no entanto, podemos também notar que a perda de vigor vegetativo é diferencial, ou seja, algumas zonas da vinha perdem o vigor mais rapidamente do que outras. Este mesmo fenómeno acontece dentro das parcelas que supostamente são tratadas de forma homogénea. Em 16/09/2012 (Figura 2c), já muito próximo da colheita, a diminuição do vigor vegetativo atinge o seu máximo. Também pode ser notado que a mesma casta pode ter comportamentos vegetativos diferentes considerando

diferentes parcelas (por exemplo, Figura 2c., Parcelas 5 e 10).

As Figuras 3a, 3b e 3c representam o comportamento do NDVI para a campanha de 2013 e a partir destas é possível concluir que o vigor vegetativo (NDVI) foi mais uniforme em comparação com os resultados de 2012. Tal parece ter explicação na diferença de qualidade climática quando comparamos os dois anos, de facto, 2012 foi um ano seco (344 mm de precipitação), quando comparado a 2013 (860 mm de precipitação). Em 2012 houve uma dificuldade óbvia na recarga de aquíferos, como tal a vinha, desde o seu rebentamento na primavera (março), respondeu com menos vigor vegetativo, mantendo esse mesmo padrão ao longo de toda a campanha.

Em 2014 (Figuras 4a, 4b e 4c), o vigor da vegetação (NDVI) foi muito semelhante ao observado no ano de

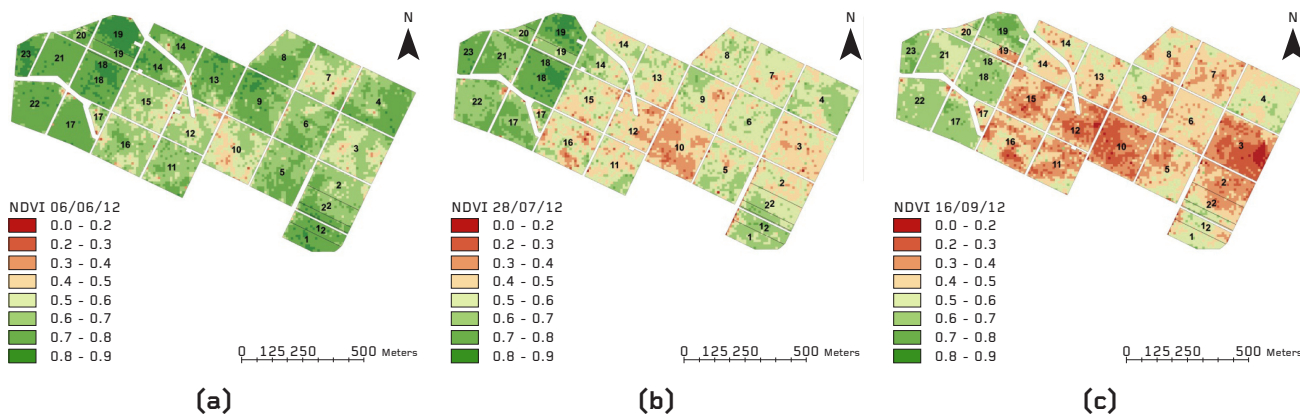


Figura 2. Superfícies de NDVI de 2012: (a) Floração; (b) Pintor; (c) Colheita

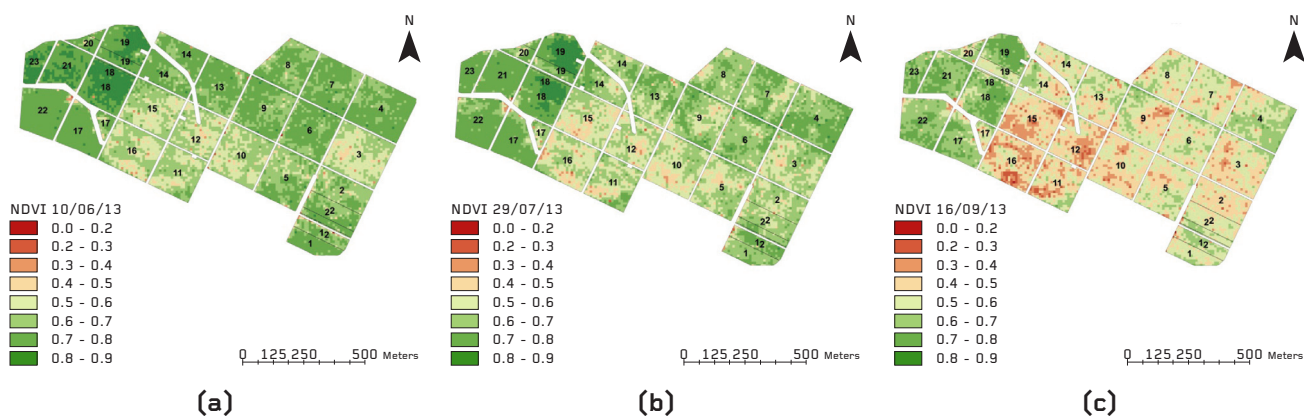


Figura 3. Superfícies de NDVI de 2013: (a) Floração; (b) Pintor; (c) Colheita

2013 e novamente tal poderá ser explicado pelo padrão climático, muito semelhante, nestes dois anos (798 mm e 860 mm de precipitação respectivamente). Para além disso, nota-se, pelo menos em alguns talhões e locais da vinha, que um ano húmido (2014), precedido de outro ano húmido (2013), evidencia efeitos cumulativos de vigor vegetativo. Se observarmos a parcela 6 em 2014 (Figura 4c) e em 2013 (Figura 3c) notamos que em 2014 o vigor vegetativo foi ainda mais elevado do que em 2013. Apesar de ambos serem anos húmidos, o ano de 2013 foi precedido por um ano seco (2012). Possivelmente, o efeito de termos tido dois anos húmidos consecutivos é determinante para a interpretação deste comportamento da parcela. Pelo exposto, poderemos concluir que a qualidade climática do ano e dos que o precedem podem ter influência no comportamento espacial e temporal do vigor vegetativo (NDVI). O ano seco (2012) apresenta um maior contraste vegeta-

tivo do ponto de vista espacial e temporal quando comparado com os anos mais húmidos (2013 e 2014).

Todos os mapas para esta vinha estão disponíveis em <http://inalentejo.uevora.pt/> com as seguintes credenciais de entrada: anonimo; cabernet.

Zonas homogêneas de tratamento

A Figura 5 apresenta os resultados de uma análise de agrupamentos (“clusters”) efetuada ao NDVI. Esta análise permite identificar agrupamentos de vigor vegetativo da vinha, alguns deles relativamente estáveis no espaço e no tempo (parcelas 17, 18, 19, 21, 22, 23) e outros não (todas as restantes parcelas). A identificação desses agrupamentos ao nível da vinha permitirá ajustar a gestão da mesma no espaço e no tempo, de acordo com a sua expressão vegetativa, pois uma vinha com maior vigor vegetativo geralmente requer maior quantidade de nutrientes, água e pesticidas por

unidade de superfície foliar, sendo o oposto também verdade. A identificação de tais agrupamentos ao nível intra-parcelar (Figura 5) nem sempre permite uma gestão diferenciada para alguns dos fatores de produção, por exemplo a rega, pois as parcelas são normalmente concebidas para serem regadas de maneira uniforme. No entanto, é possível ajustar outros fatores de produção, como por exemplo a nutrição das plantas (ex: variação do vigor da planta devido à variação das características do solo - ver parcela 8 na Figura 1b e na Figura 5a).

No entanto, a partir da observação das Figuras 5a, 5b e 5c, pode concluir-se que a definição de zonas homogêneas de tratamento baseadas no histórico (espacial e temporal) do vigor da vegetação (NDVI) é algo complicado, pois as zonas homogêneas de tratamento variam em função da qualidade climática do ano. No entanto, anos secos (Figura 5a) são espacialmente mais homogêneos do

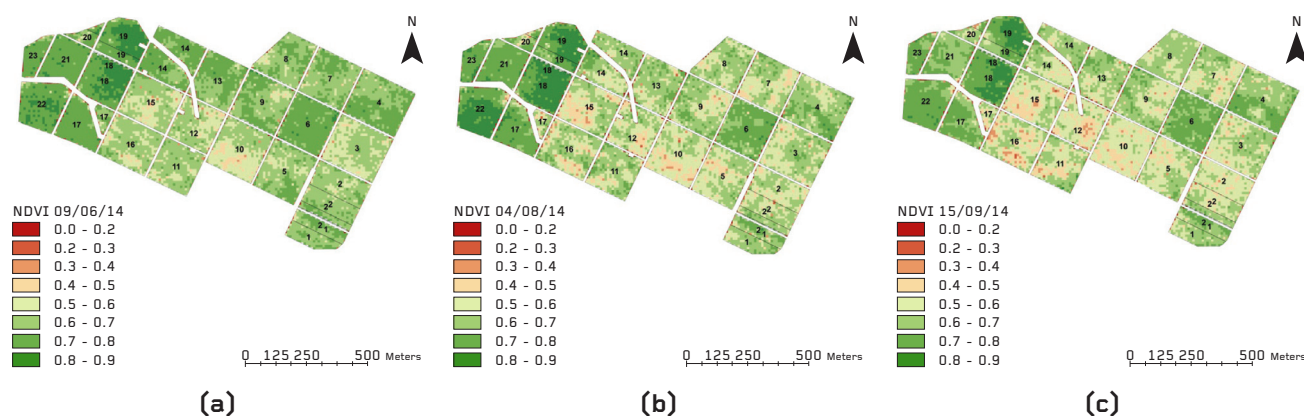


Figura 4. Superfícies de NDVI de 2014: (a) Floração; (b) Pintor; (c) Colheita

que os anos húmidos (Figura 5b e 5c). Esta fronteira temporal dinâmica em termos de gestão (Figura 5a, 5b e 5c) é bastante problemática, sendo sempre um compromisso geográfico médio (Figura 5d), que normalmente não existe. No entanto, esses limites dinâmicos permitem estudar os fatores controladores da vinha e desenvolver estudos dirigidos, como forma de superar as limitações que estes impõem no espaço e no tempo.

Face ao exposto anteriormente, muitas seriam as perguntas que poderiam ser feitas, tais como: i) a fim de obter a melhor relação produtividade/qualidade como deveremos gerir a vegetação em anos secos e em anos húmidos; ii) em anos húmidos, com maior disponibilidade de água no solo, qual deverá ser o nosso objetivo, reduzir a vegetação para armazenar água no

solo e desta forma reduzir os custos com este fator de produção, ou aumentar a vegetação, a fim de esgotar as reservas de água no solo e assim, controlar o “stress hídrico” final das plantas, tão necessário para promover a qualidade final das uvas; iii) em anos secos qual deverá ser o nosso foco, reduzir a vegetação, a fim de reduzir o consumo de água ou aumentar/manter a vegetação, a fim de promover uma maior produtividade e melhor controlar o “stress hídrico final”?

Dada a dinâmica espacial e temporal do vigor da vegetação (Figura 6), as ferramentas de gestão da vinha têm que evoluir para a utilização de sensores (detecção) e atuadores (aplicação) com resposta em tempo real. Por exemplo, está a ser desenvolvida investigação que irá a breve trecho permitir fazer a aplicação diferenciada

de pesticidas na vinha, utilizando para isso sensores que medem a volumetria do copado à frente do trator e aplicadores que permitem dosear em tempo real a aplicação de pesticida adequada.

CONCLUSÕES

Em conclusão, podemos afirmar que os sensores multiespectrais ativos próximos permitem: i) definir classes de gestão na vinha apesar destas serem dinâmicas no tempo e no espaço face à qualidade do ano hidrológico; ii) estudar as fronteiras dos fatores controladores e a forma de como ultrapassar as limitações que estes impõem; iii) face à biomassa e vigor da vegetação existente ajuizar sobre alguns dos aspetos determinantes na gestão da vinha, nomeadamente

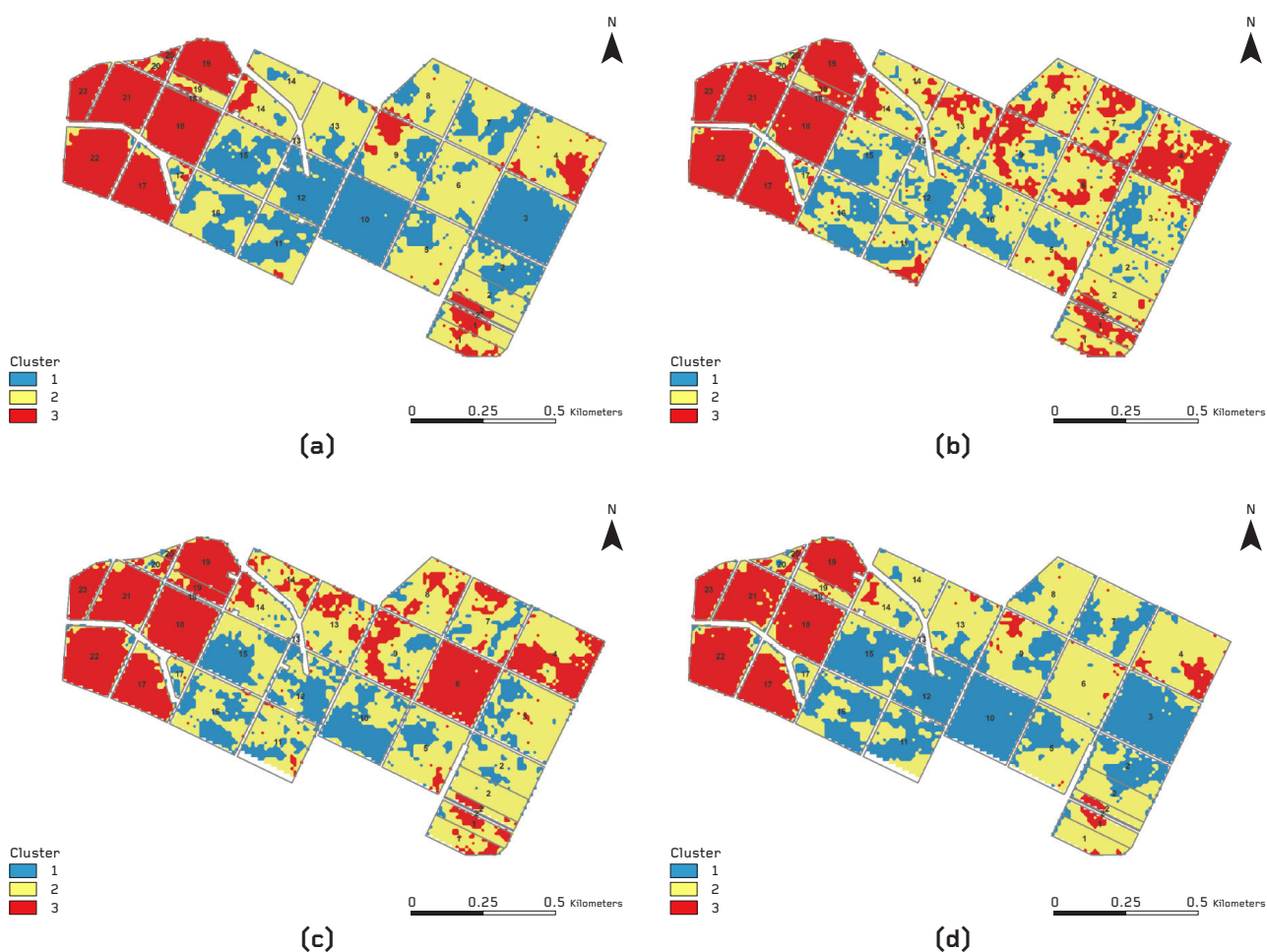
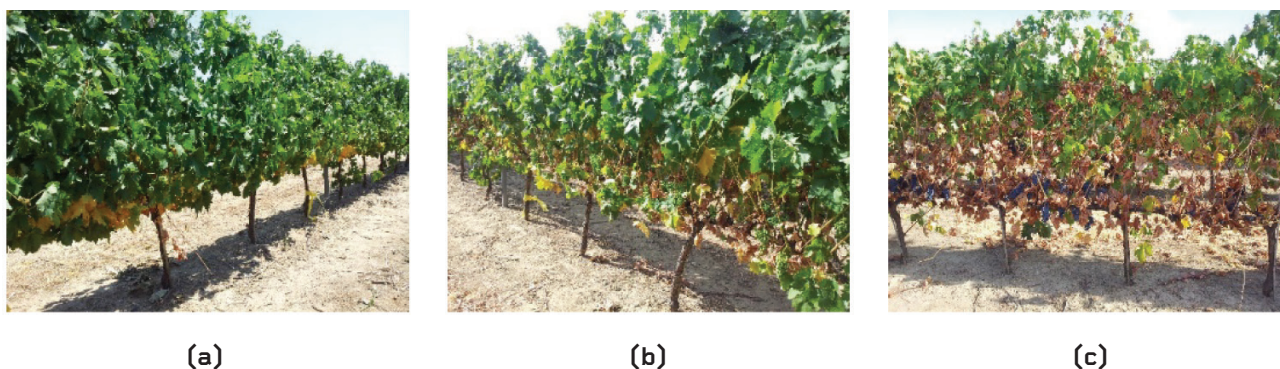


Figura 5. “Clusters” de vigor vegetativo para: (a) 2012; (b) 2013; (c) 2014; e (d) Integração multi-anual dos 3 anos. (1) Vinha com vigor vegetativo baixo; (2) Vinha com vigor vegetativo médio; e (3) Vinha com vigor vegetativo elevado



(a)

(b)

(c)



Figura 6. Evolução do vigor vegetativo das plantas ao longo da campanha: a) julho; b) agosto; c) setembro

a rega (mais vegetação mais rega), a nutrição (mais vegetação/produção mais nutrição) e a proteção das plantas (mais vegetação, maior a área de folhas a ser molhada).

Acreditamos ainda que em agricultura/viticultura os futuros sensores e atuadores deverão a breve trecho considerar estratégias de gestão em tempo real, pois é a única maneira de lidar com a variabilidade espacial e temporal da paisagem agrícola, otimizando dessa forma os fatores de produção e a intensificação sustentável da agricultura.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado direta e indiretamente pelos seguintes projetos: i) PRODER 43106; ii) INALENTEJO - ALENTEJO-07-0224-FEDER-00172; iii) RITECA (POCTEP); e iv) FCT project - EXCL_AGR-TEC_0336_2012. O trabalho foi também suportado pela “Fundação Eugénio de Almeida” e pelo seu corpo técnico, particularmente pelos Engs. Pedro Baptista, Mariana Torres, Ana Simões e João Torres. ■



BIBLIOGRAFIA

- Bausch, W. C., Delgado, J. A., 2003. Ground-based sensing of plant nitrogen status in irrigated corn to improve nitrogen management. In T. VanToai *et al.* (Eds.), *Digital imaging and spectral techniques: Applications to precision agriculture and crop physiology* (pp. 145-157). ASA Special Publication 66. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA.
- Broge, N. H., Leblanc, E., 2000. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76(2):156-172.
- Dobrowski, S. Z., Ustin, S. L., Wolpert, J. A., 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(2):117-125.
- Dobrowski, S. Z., Ustin, S. L., Wolpert, J. A., 2003. Grapevine dormant pruning weight prediction using remotely sensed data. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9:177-182.
- Gitelson, A. A., 2004. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation. *Journal of Plant Physiology*, 161(2):165-173.
- Hall, A., Lamb, D. W., Holzapfel, B., Louis, J., 2002. Optical remote sensing applications in viticulture-A review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1):36-47.
- Hall, A., Louis, J., Lamb, D., 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers and Geosciences*, 29:813-822.
- Johnson, L. F., 2003. Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9(2):96-101.
- Johnson, L.F., Roczen, D.E., Youkhana, S.K., Nemani, R.R., Bosch, D.F., 2003. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* 38:33-44.
- Johnson, L. F., Bosch, D. F., Williams, D. C., Lobitz, B. M., 2001. Remote sensing of vineyard management zones: Implications for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4):557-560.
- Montero, F. J., Melia', J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A., Lanjeri, S., 1999. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, 40:363-375.
- Pedroso, M., Taylor, J., Tisseyre, B., Charnomordic, B., Guillaume, S., 2010. Segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. *Computers and Electronics in Agriculture* 70:199-208.
- Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadila, E., Christofides, C., Tsadilas, C., Schepers, J. S., 2010. Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production. *Precision Agriculture*, 11:306-315.