

ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE MILHO

Anabela Grifo¹ & José Marques da Silva²

¹IPS, Escola Superior Agrária de Santarém Departamento de Ciências Agrárias, ICAAM,

²Universidade de Évora, ECT, DER, ICAAM, CITI

RESUMO

Os mapas de produtividade refletem na maior parte das vezes a variação espacial e temporal dos diferentes fatores condicionadores do processo produtivo, sendo que o conhecimento de tais variações é importante na tomada de decisão desse mesmo processo produtivo. Neste estudo pretendemos identificar e caracterizar a variabilidade espacial e temporal (4 anos) da produtividade de milho, considerando para tal uma parcela regada por um Center Pivot e utilizando a técnica multivariada de análise de componentes principais. A aplicação da análise de componentes principais aos dados multitemporais da produtividade de milho permitiu perceber que: i) o 1º componente está relacionado com a produtividade média temporal, podendo a partir desta e dos respetivos *loadings*, perceber se a variabilidade temporal da produtividade média é baixa ou alta; ii) o 2º componente identifica as manchas da parcela com maior ou menor resiliência à variação temporal da produtividade; e iii) o 3º componente, fornece-nos pois a carta da estabilidade temporal da produtividade.

Palavras-chave: Análise de Componentes Principais; análise espacial e temporal da produção; agricultura de Precisão

ABSTRACT

The yield maps reflect in most cases the spatial and temporal variation of the different conditioning factors of the production process, so the knowledge of such variations is important in decision making of that same production process. In this study we intend to identify and characterize the spatial and temporal variability (over 4 years) of maize yield, considering for such a parcel irrigated by a center pivot and the multivariate technique of principal components analysis. The application of principal components analysis to a multitemporal data of maize productivity allowed to realize that: i) the 1st component is related to the average productivity of time and from this and the respective loadings we can see if the temporal variability of the average productivity is low or high; ii) the 2nd component identifies the portion of parcel more or less resilient to temporal variation, iii) the 3rd component provides us the maps of the temporal stability of productivity.

Keywords: Principal components analysis; maize yield spatial and temporal analysis; Precision agriculture

INTRODUÇÃO

A obtenção de dados georreferenciados das propriedades físicas e químicas do solo permite a elaboração de mapas e o delineamento de zonas com um potencial produtivo semelhante (Goovaerts, 1998; Lund et al., 2000; Corwin e Lesh, 2005; Iqbal et al., 2005; Corwin et al., 2006; Ayoubi et al. 2007; Aimrun et al., 2009). Contudo, determinar quais as propriedades do solo que servem de base para a decisão de zonas com um potencial produtivo análogo é muitas vezes um processo complexo devido às interações que afetam a produção da cultura. A interação destas propriedades com fatores: i) climáticos (Machado et al., 2002; Bakhsh et al., 2000); ii) topográficos (Schepers et al., 2004; Jaynes et al., 2005; Marques da Silva e Silva, 2006 e 2008; Kumhálová et al., 2011); iii) nutricionais (Bakhsh et al., 2000; Cox et al., 2003) e iv) de pragas e doenças (Bakhsh et al., Jaynes et al., 2005) afetam a variabilidade espacial e temporal da produtividade das culturas. Assim, os mapas de produtividade refletem normalmente a variabilidade espacial e temporal deste conjunto de interações

envolvidas no processo produtivo, constituindo dessa forma uma ferramenta de base para a tomada de decisão.

No entanto, para compreender os padrões da variabilidade espacial e perceber como esta é afetada pela variabilidade temporal, vários foram os estudos desenvolvidos (Blackmore et al., 2003; Link et al., 2004; Diacono et al., 2012). Diker et al. (2004) estudaram a variabilidade da produção de milho em dois campos e embora a distribuição espacial se tenha alterado durante os três anos do estudo, a análise de frequência da produtividade multianual permitiu estabelecer três zonas relativamente à média da produtividade temporal que classificaram como zonas de produtividade baixa, média e alta. Outros autores também verificaram alteração da distribuição espacial da produção ao longo dos anos perante situações de anos secos e húmidos devido, essencialmente, à diferente disponibilidade de água (Bakhsh et al., 2000; Schepers et al., 2004; Kumhálová et al., 2011). Blackmore et al. (2003) e Marques da Silva (2006) analisaram a tendência espacial e temporal da cevada para malte, trigo, colza e milho ao longo de alguns anos e constataram um elevado grau de variabilidade inter-anual. Marques da Silva (2006) provou que o sistema de irrigação utilizado em conjunto com a topografia do terreno são fatores que afetam marcadamente a variabilidade espacial e temporal da produtividade, evidenciando que o aumento da área regada por pivot torna menor a soma de produção das zonas estáveis. Em 2012, Marques da Silva et al. introduzem o modelo de Rasch no estudo da variabilidade espacial e temporal da produtividade. Segundo os autores, a utilização deste modelo permite a criação de mapas probabilísticos do potencial de produção, tornando possível tomar decisões sobre as áreas de elevada probabilidade produtiva.

Uma das grandes dificuldades na análise deste tipo de bases de dados espaciais e multi-temporais passa pela sua dimensão e redundância, como tal, a exemplo de outros investigadores, novas técnicas de prospeção e tratamento de dados deverão ser testadas para que novo conhecimento possa surgir a este nível.

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica de estatística multivariada que proporciona formas de reduzir um conjunto de dados complexo numa dimensão inferior, simplificando estruturas e revelando por vezes pormenores importantes.

Esta técnica tem sido aplicada a diferentes áreas de estudo (Jackson, 1980; Boruvka et al., 2005; Kallithraka et al.; 2001). No entanto, não se encontram muitos estudos que

apliquem a ACP aos mapas de produtividade. Moral et al. (2010) utilizaram a ACP no estudo da variabilidade espacial de cinco propriedades do solo bem correlacionadas. Estes autores mostraram que a condutividade elétrica aparente (0-90 cm) e a fração de argila do solo foram as principais fontes de variação encontradas permitindo, posteriormente, definir duas zonas de gestão localizada utilizando a técnica de classificação fuzzy-c-means. Nos estudos de Schepers et al. (2004) a aplicação da ACP tornou possível resumir e condensar a variabilidade de cinco atributos da paisagem em duas novas variáveis (componentes principais) tendo os resultados indicado uma significativa influência da elevação e da condutividade elétrica aparente do solo na variação espacial das propriedades químicas do solo. Estes resultados permitiram através de classificação não supervisionada definir quatro zonas homogêneas em termos destes parâmetros. Do ponto de vista temporal a ACP não é referida por nenhum estudo que seja do nosso conhecimento, como tal, o objetivo deste trabalho passa por verificar se a aplicação da ACP às bases de dados multi-temporais da produtividade permite compreender os fatores que controlam a variabilidade espacio-temporal da produtividade de milho e a partir daí diluir o risco temporal que está associado à produtividade de determinada parcela agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Processamento e colheita de dados

O estudo foi realizado numa parcela agrícola com uma área de 58,3 ha, designada por Azarento, localizada na Herdade de Cego, concelho de Fronteira (Lat: +39,09307; Long: -7,611332), região do Alto Alentejo.

O trabalho desenvolvido utilizou dados de produção da cultura do milho relativos aos anos de 2002, 2003, 2004, e 2007. O milho foi semeado no fim de Abril/início de Maio, colhido em Setembro/Outubro e regado por *center pivot*. O agricultor utilizou um sistema de mobilização mínima do solo utilizando um subsolador (300 mm de profundidade) antes da sementeira.

Os dados da produção foram colhidos com uma ceifeira-debulhadora CLAAS LEXION 450 equipada com um GPS diferencial, um sensor de fluxo de grão e um sensor de humidade do grão. Estes sensores foram produzidos pela CLAAS, Harsewinkel, German. Esta ceifeira possui ainda um sistema de informação eletrónico que

proporciona produções instantâneas e dados de humidade do grão, com erro inferior a 5%. O peso de grão colhido foi ajustado a uma humidade de 140 g kg⁻¹.

A área de estudo esteve sujeita às variações de temperatura e precipitação características do clima mediterrânico (clima Csa de acordo com a classificação de Köppen). Os solos desta zona estão classificados como Luvisolos e Vertissolos (FAO, 1998).

A metodologia descrita por Blackmore e Moore (1999) foi aplicada aos dados de produção de forma a eliminar os erros identificados. As variáveis correspondentes à produção de milho de cada um dos anos foram padronizadas. Este procedimento transformou os valores de cada variável num conjunto dos dados com média zero e desvio padrão um com o objetivo de uniformizar a importância estatística de todas as variáveis em estudo.

Análise estatística

Os programas SPSS® (IBM SPSS Statistics, 2009) e ArcGIS™ : Geostatistical Analyst tool (ESRI, 2009) foram utilizados na análise exploratória dos dados espaciais da produtividade para verificar a presença de outliers, tendência, normalidade e dependência direcional dos dados. Foram eliminados, anualmente, os valores considerados outliers severos, utilizando para tal o 1º quartil (Q_1) e o 3º quartil (Q_3) dos dados de produtividade. Valores superiores ao valor $Q_3 + 3(Q_3 - Q_1)$ e inferiores ao valor $Q_1 - 3(Q_3 - Q_1)$ foram eliminados (Murteira et al., 2010). Relativamente aos outliers locais estes foram eliminados quando apresentaram um valor de cluster igual a -1, pela análise de Voronoi. Posteriormente foram calculadas as estatísticas descritivas (Tabela 1) e o coeficiente de variação foi utilizado para descrever a variação da produtividade em cada ano de estudo.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos dados da produtividade de milho.

ANO	Média (t/ha)	S ¹ (t/ha)	Mínimo (t/ha)	Máximo (t/ha)	CV ¹
2002	12,57	4,9656	0,505	23,986	0,395
2003	08,34	3,1749	0,504	22,886	0,381
2004	12,66	3,8329	0,506	23,968	0,303
2007	12,55	3,5818	0,503	23,913	0,285

¹S= desvio padrão; CV=coeficiente de variação

A produção de milho do ano 2003 apresentou uma distribuição dos dados quase simétrica mas os restantes anos evidenciaram uma assimetria negativa. A presença de alguns valores com produtividade baixa nos anos de 2002, 2004 e 2007 originou um enviesamento da distribuição para a esquerda. Contudo ao concentrarmo-nos numa visão à escala da autocorrelação espacial, cerca de 60 a 70 m, verificou-se que os dados de produção têm uma distribuição próxima da normal.

A análise da estrutura e da dependência espacial da produção de milho foi realizada com os dados da produção padronizados, em cada um dos 4 anos, no programa SpaceStat (BioMedware, 2012), pela forma do variograma. Os dados revelaram ausência de tendência e comportamento isotrópico (Isaaks & Srivastava, 1989; Soares, 2006; Oliver, 2010). Os variogramas omnidirecionais foram ajustados para os diferentes modelos teóricos (Goovaerts, 1998) tendo o modelo esférico, com duas estruturas, evidenciado o melhor ajuste em todos os anos de produção (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros dos variogramas dos dados da produtividade de milho.

Ano	Lag ¹ (m)	Nº lags	Modelo	Efeito Pepita ¹	Patamar ¹	Amplitude ¹ (m)
2002	6	40	Esférico	0,372	0,416	69,02
					0,230	210,66
2003	6	40	Esférico	0,340	0,327	55,477
					0,309	240,68
2004	6	40	Esférico	0,306	0,367	57,81
					0,283	179,32
2007	6	40	Esférico	0,365	0,287	49,59
					0,411	313,07

¹Pepita: variância a espaço zero; Patamar: variância correspondente ao ponto em que o variograma estabiliza; Amplitude: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Lag (passo): distância entre os pares de pontos.

A Fig. 1, a título de exemplo, apresenta o variograma relativo à produção da cultura do milho no ano de 2002, os restantes anos analisados, apresentam variogramas em tudo semelhantes a 2002. A variabilidade espacial da produção de milho expressou uma dependência espacial moderada segundo Cambardella et al. (1994).

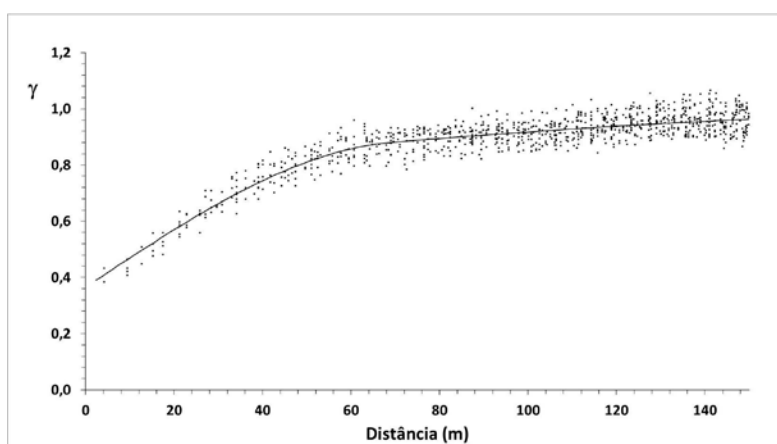


Fig. 1 – Variograma da produção de milho no ano de 2002.

As superfícies de produção foram obtidas pelo método de interpolação geoestatístico krigagem ordinária, 32 pontos vizinhos e as propriedades estruturais dos variogramas. Todos os mapas foram elaborados no ArcGIS™ (ESRI, 2009).

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada no programa ArcGIS™: Spatial/3D analyst tools (ESRI, 2009). A ACP é uma metodologia estatística amplamente conhecida e utilizada podendo ser facilmente seguida e acompanhada em diversos textos como o de Jackson (1980).

A ACP foi aplicada aos quatro anos de produção, considerando cada ano como uma variável, para identificar e caracterizar a maior ou menor variabilidade espacial e temporal da produtividade. A análise da matriz de covariância indicou a existência de relação entre os valores de produtividade dos diferentes anos. A força dessa relação foi dada pela matriz de correlação que mostrou que as variáveis iniciais não eram independentes. As produtividades dos anos de 2002, 2003 e 2004 exibiram uma correlação forte e positiva entre elas. A produtividade do ano de 2007 foi moderadamente correlacionada com os restantes anos de produção. A partir da matriz de covariância o programa extraiu os valores próprios (eigenvalues) e os autovetores (eigenvectors). As variáveis originais relativas às produções de cada ano foram transformadas em novas variáveis, designadas por componentes principais (CP), sendo o eixo das coordenadas destas variáveis descrito pelos vetores. As CP são uma combinação linear das diferentes variáveis em análise e cada ano de produção irá ter um peso diferente em cada uma das CP. As CP são ortogonais entre si, isto é, cada componente tem uma informação estatística diferente das outras (Jackson, 1980).

Os mapas da análise de componentes principais, as isolinhas e respectivos valores foram obtidos no ArcGIS™ (ESRI, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de componentes principais (ACP)

Cada CP (componente principal) é uma combinação linear de todas as variáveis originais (Fig. 2) e o valor da variância de cada componente principal reflete a quantidade de informação que essa componente explica. A primeira componente (CP1) é responsável por 76,9% da variância temporal existente o que em termos práticos quer dizer que integra mais de 2/3 da variância temporal existente (Tabela 3).

Do ponto de vista da variabilidade temporal e da CP1, quase que poderemos afirmar que quanto maior for o valor explicado nesta primeira componente, maior será a homogeneidade temporal da produtividade da parcela em estudo, sendo o contrário também verdade, ou seja, quanto mais baixo for o valor da variância multitemporal explicada na CP1 maiores oscilações temporais existirão na produtividade ao longo do tempo. A CP1 poderá assim separar parcelas no que toca à sua complexidade multitemporal, separando parcelas pouco complexas e de baixo risco multitemporal (*high loadings*) de parcelas muito complexas e elevado risco multitemporal (*low loadings*).

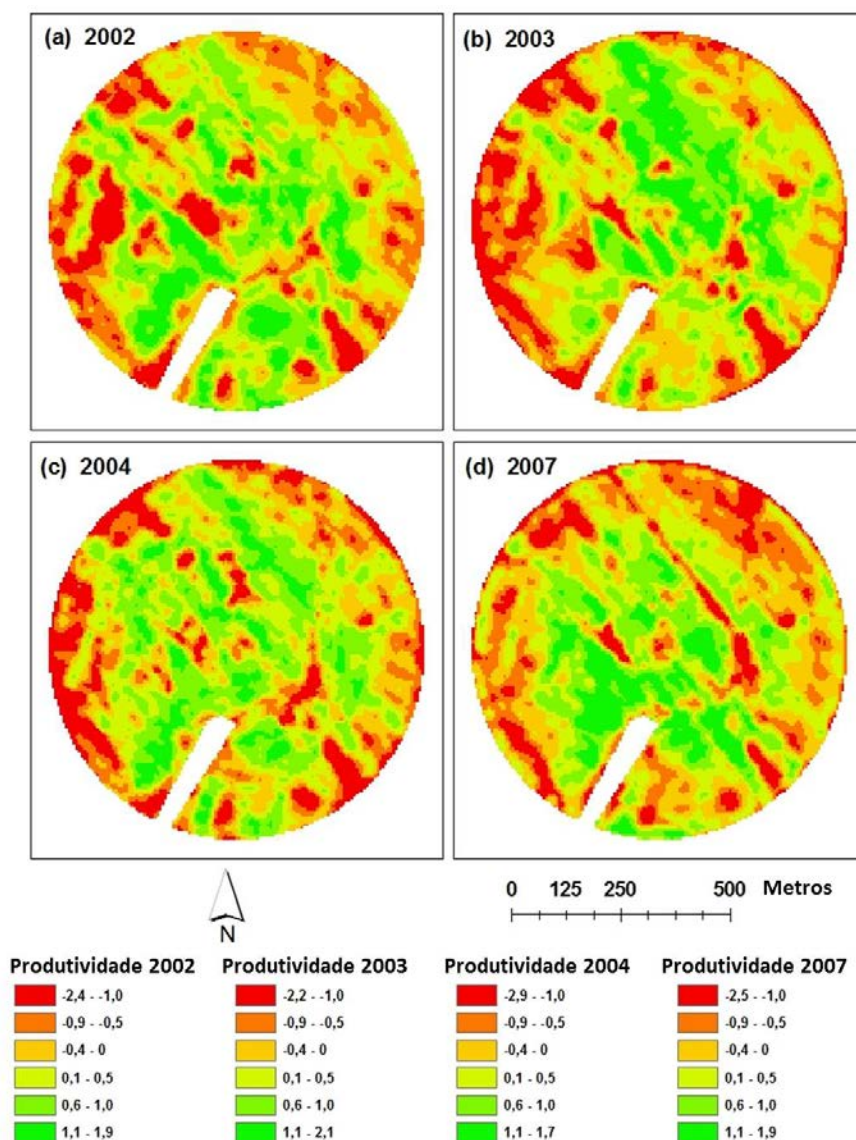


Fig.2. Mapas da produtividade de milho padronizada: (a) produtividade do ano 2002; (b) produtividade do ano 2003; (c) produtividade do ano 2004; (d) produtividade do ano 2007.

A análise dos valores próprios permite constatar que as CP1 e CP2 em conjunto explicam cerca de 88,8 % da variância dos dados (Tabela 3). As três primeiras componentes explicam 95% da variação dos dados. Estes resultados mostram que a dimensão do problema pode ser reduzida a 2 ou 3 componentes sem perda significativa de informação.

Tabela 3 – Percentagem da variância explicada pelos eixos

ACP	Valores	Proporção	Proporção	
	Próprios	(%)	Acumulada (%)	
CP1	1,39562	76,9	76,9	
CP2	0,21666	11,9	88,8	
CP3	0,11641	6,40	95,2	
CP4	0,08712	4,80	100	
Correlação com os componentes principais (loadings)				
	Yield	Yield	Yield	Yield
	2002	2003	2004	2007
CP1	0,51204	0,51520	0,53994	0,42526
CP2	0,17582	0,36675	0,18753	-0,89410
CP3	0,84002	-0,41850	-0,33658	-0,07708

Primeira componente principal (CP1)

A CP1 (Fig. 3) é referente ao primeiro eixo ortogonal e representa 76,9% da quantidade de variação presente nos dados originais (Tabela 3). Esta nova variável foi formada pela transformação linear das variáveis originais referentes à produtividade de milho dos diferentes anos em estudo. Os anos de produção 2002, 2003, 2004 e 2007 contribuíram positivamente e de forma sensivelmente igual para a formação da CP1, com coeficientes de correlação com o primeiro eixo próximos de 0,5 (Tabela 3). Isto significa que a primeira componente está relacionada com a variabilidade que todas estas variáveis têm em comum (Fig.2).

A análise comparativa da CP1 (Fig. 3) com o mapa da produtividade média dos 4 anos (Fig. 4) permite observar que os valores mais altos da CP1 se encontram nas zonas de

mais alta produtividade média e os valores mais baixos coincidem com os de menor produtividade média. A CP1 está por isso relacionada com a produtividade média temporal de milho. Compreende-se assim que, valores altos da CP1 correspondam a zonas com valores de produtividade média temporal elevada e que, valores baixos da CP1 correspondam a zonas com produtividade média temporal baixa. Pode-se então perceber que a CP1 está relacionada com a variabilidade da produtividade média temporal da cultura do milho, para o número de anos analisados, no pivot Azarento.

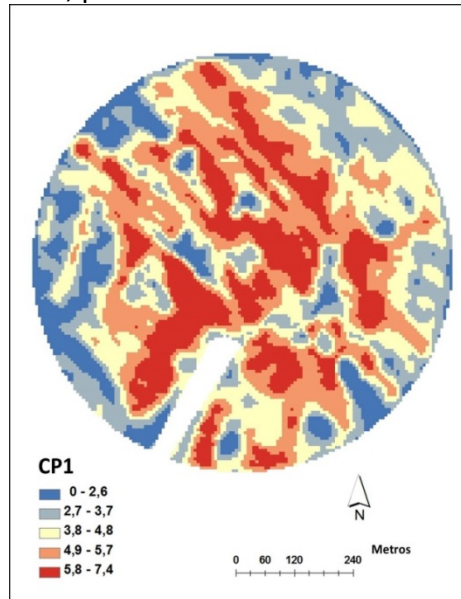


Fig. 3. Primeira componente principal (CP1)

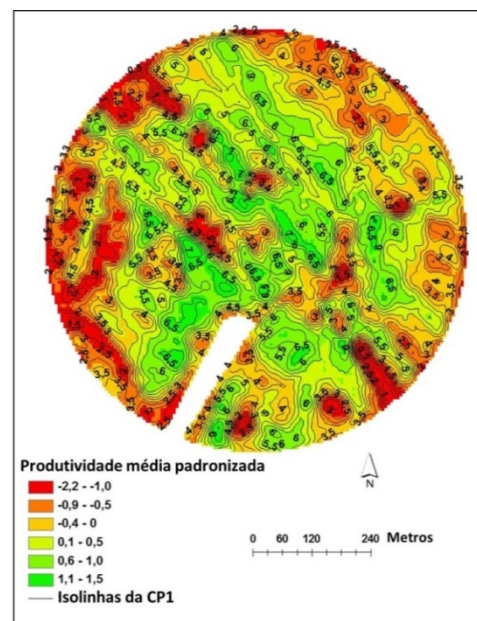


Fig. 4. Produtividade média padronizada dos anos 2002, 2003, 2004, 2007 e isolinhas da CP1.

Face ao exposto no ponto 3.1. e para as parcelas em que a CP1 explique uma elevada variabilidade multitemporal da produtividade (*high loadings*, Tabela 3) poderemos delimitar zonas homogéneas, temporalmente estáveis, de alta e baixa produção, possibilitando a gestão localizada de fatores de produção com consequentes benefícios ambientais. No entanto, se a CP1 não explicar uma elevada variabilidade multitemporal da produtividade (*low loadings*) tal gestão terá que ser feita em tempo real e nunca baseada na produtividade multitemporal pois, de um ano para o outro, a variabilidade da produtividade é relativamente elevada no espaço e no tempo.

Segunda componente principal (CP2)

A segunda componente principal explica 11,9% da variância dos dados originais e apresenta uma relação negativa, relativamente elevada, com a produtividade do ano de 2007 (Tabela 3). Esta CP (Fig. 5) parece identificar zonas da parcela com taxas de resposta à mudança distintas. Observando as figuras 2 e 5 pode-se notar que valores baixos da CP2 (e.g. entre 0 e 2, Fig. 5) assinalam zonas onde habitualmente ocorrem produtividades baixas e que ocasionalmente, num determinado ano (2007), a produtividade foi superior à produtividade média temporal. Quando os valores da CP2 são altos (e.g. entre 3,5 e 5,6, Fig. 5), ocorre o mesmo fenómeno mas em sentido contrário, isto é, são evidenciados locais que normalmente têm produtividades altas e que casualmente tiveram produtividades abaixo da média temporal (2007). Os valores intermédios desta CP indicam zonas cuja dinâmica temporal da produtividade é relativamente estável, ou seja, zonas relativamente resilientes à mudança, mesmo quando ela existe noutros lados da parcela. Desta forma, compreendemos que a CP2 identifica zonas da parcela com maior ou menor resiliência à mudança temporal da produtividade média, os extremos da CP2 (0 a 2 e 3,5 a 5,6), isolam as áreas menos resilientes à mudança temporal e os valores intermédios (2 a 3,5) as zonas mais resilientes à mudança temporal. A CP2 fornece-nos pois a carta da resiliência à variação temporal, por outras palavras, fornece-nos a carta da produtividade marginal no que toca à mudança, zonas onde a mudança tem um impacto elevado na produtividade marginal e zonas onde tal não se verifica.

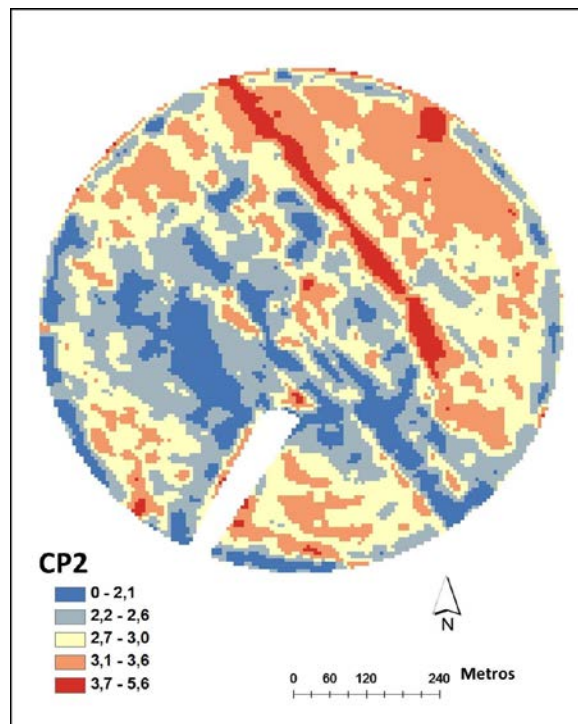


Fig. 5. Segunda componente principal

Terceira componente principal (CP3)

A CP3 explica 6,4% da variância dos dados originais e apresenta uma relação positiva, relativamente elevada, com a produtividade do ano de 2002 (Tabela 3). A percentagem de variação da produtividade dos diferentes anos explicada pela CP3 é baixa, porém, este estudo não tem como finalidade reduzir o número de variáveis originais mas sim procurar informações importantes para a compreensão da variabilidade temporal da produtividade. Por esta razão, apesar das CP1 e CP2 explicarem 88,8% da variância total da produtividade, teve-se em consideração a CP3, com a finalidade de tentar encontrar características escondidas nos dados originais. Esta CP (Fig. 6) parece evidenciar a estabilidade temporal da produtividade identificando zonas que do ponto de vista temporal são relativamente estáveis, de baixa ou alta produtividade. Observando as Figs. 2 e 6 pode-se notar que valores baixos da CP3 (e.g. entre 0 e 1, Fig. 6) assinalam zonas onde habitualmente ocorrem produtividades baixas e estáveis temporalmente; quando os valores da CP3 são altos (e.g. entre 2 e 3,3, Fig. 6), ocorre o mesmo fenómeno mas em sentido contrário, isto é, são evidenciados locais que normalmente têm produtividades altas e estáveis. Os valores intermédios desta CP indicam zonas, de baixa e/ou de alta produtividade, mas

normalmente instáveis temporalmente. A CP3 fornece-nos pois a carta da estabilidade temporal da produtividade, ou seja, a carta que nos identifica as zonas onde é possível perceber tendências futuras e adequar a gestão conforme, bem como, as zonas onde a gestão terá que passar pela gestão em tempo real.

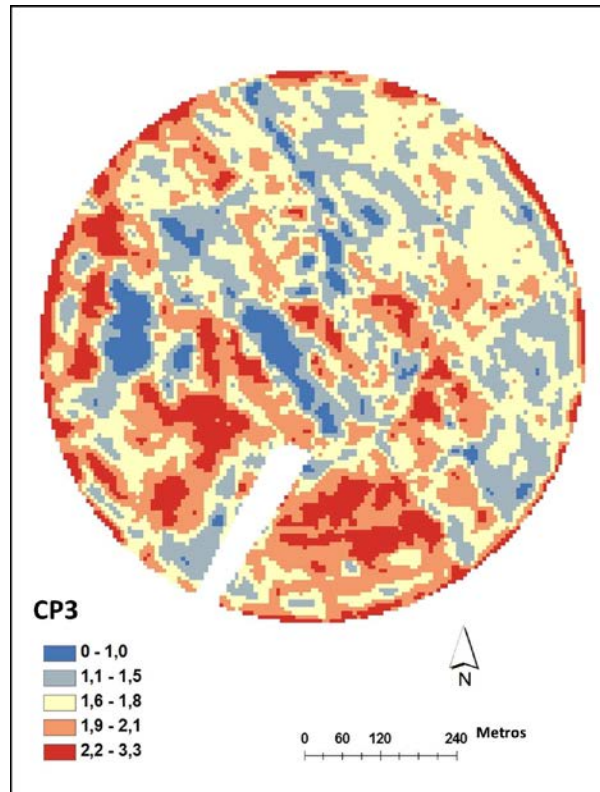


Fig. 6. Terceira componente principal

CONCLUSÕES

A aplicação da análise de componentes principais a dados multitemporais da produtividade de milho para grão permitiu perceber que: i) a CP1 está relacionada com a produtividade média temporal, podendo a partir desta e dos respetivos *loadings*, perceber se a variabilidade temporal da produtividade média da parcela analisada é baixa ou alta; ii) a CP2 identifica as manchas da parcela com maior ou menor resiliência à variação temporal, por outras palavras, fornece-nos a carta da produtividade marginal no que toca à mudança, zonas onde a mudança tem um impacto elevado na produtividade marginal e zonas onde tal não se verifica; iii) a CP3 fornece-nos pois a carta da estabilidade temporal da produtividade, ou seja, a carta que nos identifica as zonas onde é possível perceber tendências futuras e adequar a gestão conforme, bem como, as zonas onde a gestão terá que passar pela gestão em tempo real.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Castro Duarte todo apoio prestado na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biol Fertil Soils*, 27, 315–334.
- [2] Lund, E. D.; Christy, C. D. e Drummond, P. E.(2000). Using Yield and Soil Electrical Conductivity (ECa) Maps to Derive Crop Production Performance Information. *Veris Technologies. Salina KS Presented at the 5th International Conference on Precision Agriculture 2000*.
- [3] Corwin, D.L. e Lesch, S.M. (2005). Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity.I. Survey protocols. *Comput. Electron. Agric* , 46, 103–133.
- [4] Iqbal, J.; Thomasson, J. A.; Jenkins, J. N.; Owens, P. R. e Whisler, F.D. (2005). Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69, 1338–1350.
- [5] Corwin, D.L.; Lesch S.M.; Oster J.D. e Kaffka S.R. (2006). Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *Geoderma*, 131, 369-387.
- [6] Ayoubi, S.; Zamani, S. M. e Khormali, F. (2007). Spatial variability of some soil properties for site specific farming in northern Iran. *Int. J. Plant Prod.*, 1(2), 225-235.
- [7] Aimrun, W.; Amin, Ml. S. M.; Rusnam, M., Ahmad, D. ; Hanafi, M. M. e Anuar, A. R.(2009). Bulk Soil Electrical Conductivity as an Estimator of Nutrients in the Maize Cultivated Land. *Eur. J. Sci. Res.*, 31 (1), 37-51.
- [8] Machado, S.; Bynum, Jr., E. D.; Archer, T. L.; Lascano, R. J.; Wilson, L. T.; Bordovsky, J.; Segarra, E.; Bronson, K.; Nesmith, D. M.; e Xu, W. (2002). Spatial and Temporal Variability of Corn Growth and Grain Yield: Implications. *Crop Sci.*, 42, 1564–1576.
- [9] Bakhsh, A.; Jaynes, D. B.; Colvin, T. S. e Kanwar, R. S. (2000). Spatio-Temporal Analysis of Yield Variability for a Corn-Soybean Field in Iowa. *Transactions of the ASAE* Jan/Feb, 43 (1). Journal Articles, USDA Authors, Peer-Reviewed. Acedido em 16 de Janeiro de 2012, disponível em <http://naldc.nal.usda.gov/catalog/27077>.

- [10] Schepers, A. R.; Shanahan, J. F.; Liebig, M. A.; Schepers, J. S.; Johnson, S. H. e Jr., A. L. (2004). Appropriateness of Management Zones for Characterizing Spatial Variability of Soil Properties and Irrigated Corn Yields across Years. *Agron. J.*, 96, 195–203.
- [11] Jaynes, D. B.; Colvin, T. S. e Kaspar, T. C. (2005). Identifying potential soybean management zones from multi-year yield data. *Comput. Electron. Agric.*, 46, 309-327.
- [12] Marques da Silva, J. R. e Silva, L. L. (2006). Relationship between Distance to Flow Accumulation Lines and Spatial Variability of Irrigated Maize Grain Yield and Moisture Content at Harvest. *Biosyst. Eng.*, 94, 525-533.
- [13] Marques da Silva, J. R. e Silva, L. L. (2008). Evaluation of the relationship between maize yield spatial and temporal variability and different topographic attributes. *Biosyst. Eng.*, 101, 183-190.
- [14] Kumhálová, J.; Kumhála, F.; Kroulík, M. e Matejková, S. (2011). The impact of topography on soil properties and yield and the effects of weather conditions. *Precis. Agric.*, DOI 10.1007/s11119-011-9221-x.
- [15] Cox, M. S., Gerard, P. D., Wardlaw, M. C. e Abshire, M. J. (2003). Variability of Selected Soil Properties and Their Relationships with Soybean Yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1296–1302.
- [16] Blackmore, S.; Godwin, R. J. e Fountas, S. (2003). The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years. *Biosyst. Eng.*, 84 (4), 455–466.
- [17] Link, J.; Graeff, S. e Claupein, W. (2004). Spatial and temporal stability of corn grain yields in the Upper Rhine Valley. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*.
- [18] Diacono, M.; Castrignanò, A.; Troccoli, A.; De Benedetto, D.; Basso, B. e Rubino, P. (2012). Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. *Field Crop. Res.*, 131, 49–62.
- [19] Diker, K; Heermann, D. F. e Brodahl, M. K. (2004). Frequency Analysis of Yield for Delineating Yield Response Zones. *Precis. Agric.*, 5, 435–444.
- [20] Marques da Silva, J. R.; Rebollo, F. R.; Sousa, A. e Mesquita, P. (2012). Yield potential probability maps using the Rasch model. *Biosyst. Eng.*, 111, 369-380.
- [21] Jackson, J.E. (1980). Principal components and factor analysis: Part II - additional topics related to principal components. *J. Qual. Technol.*, v.13 (1).

- [22] Boruvka, T. L.; Vacek, O.; Jehlicka, J. (2005). Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128, 289–300.
- [23] Kallithraka, S.; Arvanitoyannis, I. S.; Kefalas, P. e El-Sajouli, A. (2001). Instrumental and sensory analysis of Greek wines; implementation of principal component analysis (PCA) for classification according to geographical origin. *Food Chem.*, 73, 501-514.
- [24] Moral, F.J.; Terrón, J.M. e Silva, J.R. Marques da (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil Till. Res.*, 106, 335–343.
- [25] FAO. (1998). World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports, 84. Food and Agriculture Organization of the united nations. Rome. Available online: <http://www.fao.org/docrep/W8594E/W8594E00.htm> , accessed on September 10, 2012.
- [26] Blackmore B S; Moore M R (1999). Remedial correction of yield map data. *Precis. Agric J.*, 1, 53–66.
- [27] IBM SPSS Statistics. (2009). PASW Statistic 18.0.0. Statistical Package for the Social Sciences. IBM Corporation. New Orchard Road Armonk, New York, USA.
- [28] ESRI. (2009) ARCGIS 9.3.3. Redlands, CA, USA: Environmental Systems Research Institute.
- [29] Murteira, B.; Ribeiro, C. S.; Silva, J. A. e Pimenta, C. (2010). *Introdução à estatística*. Escolar Editora. Lisboa.
- [30] BioMedware. (2012). SpaceStat. Washington, USA: Geospatial Research and Software.
- [31] Isaaks, E. H. e Srivastava R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York, Oxford University Press, 560p.
- [32] Soares, A. (2006). *Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia. Lisboa, IST Press, 2ªed, 214p.
- [33] Oliver, M.A. (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. 337 pp.
- [34] Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F. e Konopka, A.E. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 58, 1501-1511.

[35] Jackson, J.E. (1980). Principal components and factor analysis: Part II - additional topics related to principal components. *J. Qual. Technol.*, v.13 (1).