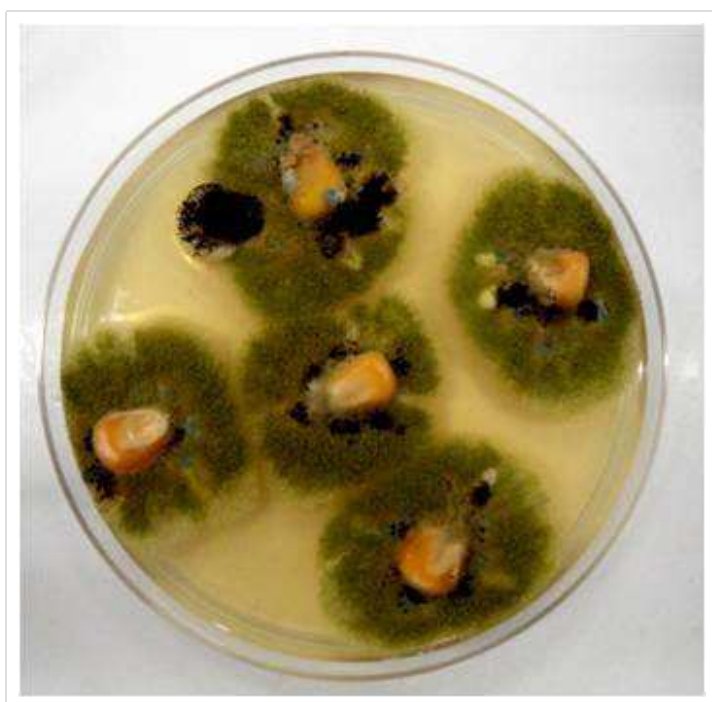


Microbiologia

Portuguese Society for Microbiology Magazine

Fungos produtores de micotoxinas

Posted on [30/07/2013](#) by [cmanaia](#)



Autores: Soares C, Abrunhosa L, Venâncio A (avenan@deb.uminho.pt)

Fungos produtores de micotoxinas: impacto na segurança alimentar

As micotoxinas são metabolitos tóxicos secundários produzidos por alguns fungos filamentosos que surgem de forma natural em produtos agroalimentares em todo o Mundo. As mais relevantes para a segurança sanitária de alimentos são as aflatoxinas, a ocratoxina A, a patulina, as fumonisinas, a zearalenona e o desoxinivalenol, estando a sua presença em alimentos regulamentada. Estas micotoxinas são produzidas principalmente por espécies que pertencem aos géneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, sendo tóxicas para humanos e animais, quando ingeridas em pequenas quantidades. Podem ser carcinogénicas, mutagénicas, teratogénicas, citotóxicas, neurotóxicas, nefrotóxicas, estrogénicas e imunossupressoras. Este trabalho faz uma revisão dos principais fungos produtores destas micotoxinas, das condições em que podem ser produzidas e do seu impacto na segurança alimentar.

Em 1960, mais de 100 mil perus morreram em Inglaterra devido a uma intoxicação que foi acompanhada por um quadro de hemorragias internas e necrose hepática. Estudos posteriores mostraram que a morte destas aves se deveu à ingestão de farinha de amendoim contaminada com um metabolito tóxico produzido pelo fungo filamentosso *Aspergillus flavus* (Goldblatt, 1969). Esse composto depois de ter sido isolado e identificado foi denominado de aflatoxina. A partir daí, a implicação que as micotoxinas acarretam para a saúde humana e animal despertou a atenção da comunidade científica e o termo genérico micotoxina começou a ser utilizado.

As micotoxinas são, portanto, metabolitos secundários produzidos por fungos filamentosos que são tóxicos para humanos e animais, quando ingeridos ou inalados em pequenas quantidades. Estas são ubíquas em produtos agroalimentares, acabando por ser ingeridas involuntariamente, quando produtos de origem vegetal contaminados são consumidos. Por serem um contaminante natural, não é possível eliminar completamente a sua presença dos alimentos, mas o seu nível pode e deve ser reduzido tanto quanto seja tecnologicamente possível, para que não representem risco para a saúde pública (Bennett & Klich, 2003). Por isso, a maior parte dos países adoptou legislação que estabelece limites máximos para a presença de certas micotoxinas em alimentos. Nos países desenvolvidos, a legislação em vigor é muito restritiva e os problemas de saúde mais comuns associados às micotoxinas estão relacionados com o aparecimento de tumores e a debilitação do sistema imunológico dos indivíduos, o que reduz a sua resistência a doenças infecciosas (FAO/IAEA, 2001). Nos países subdesenvolvidos, a exposição a micotoxinas ocorre com mais facilidade uma vez que as práticas agrícolas, os métodos de armazenamento e a legislação são inadequados (Wild & Gong, 2010). Nalguns destes países, continua a ocorrer morbilidade elevada e mortes prematuras entre a população humana devido à exposição a micotoxinas.

Atualmente, conhecem-se cerca de 400 micotoxinas mas apenas algumas destas são encontradas nos alimentos em quantidade suficiente para constituir um verdadeiro risco para a saúde pública (Bennett & Klich, 2003). As mais relevantes são as aflatoxinas (AFs), a ocratoxina A (OTA), a patulina (PAT), as fumonisinas (FUM), a zearalenona (ZEA) e o desoxinivalenol (DON), que se encontram todas legisladas a nível Europeu. Os principais efeitos tóxicos destas micotoxinas estão descritos na Tabela 1. A severidade dos mesmos depende grandemente das quantidades ingeridas, do tempo de exposição e das possíveis sinergias toxicológicas que podem advir da ingestão de diversas micotoxinas simultaneamente. Para além disso, a idade dos indivíduos, o sexo e o seu estado fisiológico pode influenciar a extensão dos seus efeitos tóxicos. Quando são ingeridas em grandes quantidades, estas podem levar à morte dos indivíduos (micotoxicoses).

Tabela 1. Efeitos tóxicos associados às micotoxinas, adaptado de Pitt and Hocking (2009) e CAST (2003).

Micotoxina	Efeitos tóxicos	Efeitos patológicos
Aflatoxinas	Citotóxico, mutagénico, hepatotóxico, carcinogénico, teratogénico, imunossupressor	Hiperplasia das vias biliares, hemorragias intestinais e renais, tumores no fígado, hepatite aguda, cirrose hepática
Ocratoxina A	Citotóxico, nefrotóxico, teratogénico, hepatotóxico	Nefropatia endémica dos Balcãs, nefropatia intersticial crónica, enterite, nefropatia suína, tumores renais
Patulina	Neurotóxico, genotóxico, teratogénico, imunossupressor,	Edema cerebral e pulmonar, Hemorragias pulmonares, danos nos capilares, paralisia dos nervos motores, convulsões
Fumonisinias	Citotóxico, carcinogénico, teratogénico, hepatotóxico	Leucoencefalomalácia, edema pulmonar, cancro esofágico
Zearalenona	Genotóxico, efeito estrogénico	Puberdade precoce, edema da vulva, prolapso vaginal, atrofia testicular e dos ovários, aumento das glândulas mamárias, abortos
Desoxinivalenol	Imunossupressor, neurotóxico, genotóxico, teratogénico	Náuseas temporárias, vômitos (emesis), diarreia, dor abdominal, dor de cabeça, tonturas, febre, anorexia

Fungos Produtores de Micotoxinas

Os fungos produtores de micotoxinas podem colonizar os alimentos durante os períodos de pré-colheita, de colheita ou de armazenamento. A colonização e a contaminação com micotoxinas podem ocorrer em simultâneo, ou a produção de micotoxinas pode ocorrer numa fase posterior (Logrieco *et al.*, 2003). Normalmente, os requisitos ecofisiológicos para a produção de micotoxinas são mais restritos do que aqueles necessários ao crescimento fúngico. Tipicamente, os fungos de campo são aqueles que colonizam os alimentos durante a fase de pré-colheita. Estes crescem, habitualmente, a humidades relativas entre 70 a 90% e a temperaturas à volta dos 20 e 25 °C. Para um crescimento ativo necessitam de atividades da água (a_w) superiores a 0,85; e, para um crescimento ótimo, a_w perto de 0,99. Alguns exemplos destes fungos são os géneros *Alternaria*, *Cladosporium* e *Fusarium*. Por outro lado, fungos que surgem durante a fase de armazenamento das culturas agrícolas estão geralmente melhor adaptados a baixas a_w e a temperaturas mais elevadas. Neste caso, os géneros *Aspergillus* e *Penicillium* são os seus maiores representantes. A a_w mínima tolerada pela maioria das suas espécies é de 0,75-0,85 mas para o seu crescimento ótimo é de 0,93-0,98 (Magan, 2006).

Aflatoxinas

As principais aflatoxinas são quatro, aflatoxina B₁, B₂, G₁ e G₂. A mais abundante e mais tóxica é a aflatoxina B₁ (AFB₁), que é considerada o composto natural mais carcinogénico que se conhece. Encontram-se principalmente nos amendoins, no milho, nas oleaginosas, nas especiarias e nos frutos secos. As espécies produtoras pertencem na sua maioria ao género *Aspergillus* e à secção *Flavi*. As mais importantes são *Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus flavus* e *Aspergillus nomius* (Rodrigues *et al.*, 2009). *A. flavus* é ubíquo estando adaptado a uma grande variedade de climas, habitats e substratos. Surge sobretudo associado às culturas do amendoim, milho e sementes de algodão. São produtores exclusivos das aflatoxinas Bs e

só cerca de 40% das estirpes são micotoxigénicas (Frisvad *et al.*, 2006). Por outro lado, *A. parasiticus* possui uma distribuição geográfica mais restrita e é sobretudo encontrado em amendoins. Neste caso, praticamente todas as estirpes são produtoras de AFs, produzindo ambas as séries (B e G). Culturas aéreas como a de milho são infetadas predominantemente por *A. flavus* enquanto culturas rasteiras como a dos amendoins ou frutos secos, que entrem em contacto com o solo, são susceptíveis à contaminação por *A. flavus* e *A. parasiticus* em simultâneo (Horn, 2005). *A. nomius* é pouco comum, ocorre sobretudo em países tropicais associado ao milho e à castanha do Pará (Olsen *et al.*, 2008). No entanto, a sua ocorrência pode estar subavaliada, uma vez que se suspeita que muitos isolados são incorretamente identificados como *A. flavus* ou *A. parasiticus* (Frisvad *et al.*, 2006). Existem outras espécies produtoras menos relevantes pois são pouco comuns nos alimentos (Tabela 2).

Tabela 2. Principais espécies micotoxigénicas e alimentos afetados (Varga *et al.*, 2003; Frisvad *et al.*, 2005; Frisvad *et al.*, 2007; Puel *et al.*, 2010; Varga *et al.*, 2011; Mogensen *et al.*, 2011; Soares *et al.*, 2012; Mogensen, 2012).

Micotoxina	Espécies	Alimento
Aflatoxinas	<i>A. flavus</i>	Amendoins, frutos secos, milho, cereais, café, oleaginosas
	<i>A. parasiticus</i>	Amendoins
	<i>A. nomius</i>	Milho, castanha do Pará
	Fontes menos relevantes	<i>A. arachidicola, A. bombycis, A. mottae, A. minisclerotigenes, A. ochraceoroseus, A. parvisclerotigenus, A. pseudocaelatus, A. pseudonomius, A. pseudotamarii, A. rambellii, A. sergii, A. toxicarius, A. transmontanensis, Emericella astellata, E. venezuelensis</i>
Ocratoxina A	<i>P. verrucosum</i>	Cereais
	<i>A. westerdijkiae</i>	Café, frutos secos
	<i>A. carbonarius</i>	Uvas, vinho, sumos de uva, uva passas
	<i>A. niger</i>	Uvas, vinho, sumos de uva, uva passas, milho
	<i>P. nordicum</i>	Produtos cárneos
	<i>Petromyces alliaceus</i>	Figos secos
	<i>A. steynii</i>	Grãos de café verde, soja, arroz
Fontes menos relevantes	<i>Aspergillus cretensis, A. flocculosus, A. pseudoelegans, A. sclerotiorum, A. roseoglobulosus, A. sulphureus, A. lacticoffeatus, A. sclerotioniger, Neopetromyces muricatus, Petromyces albertensis</i>	
Patulina	<i>P. expansum</i>	Maçã, pera, frutas em geral
	<i>A. clavatus</i>	Cereais, milho, pão, frutos secos
	<i>P. carneum</i>	Enchidos, queijo, produtos cárneos
	<i>P. griseofulvum</i>	Cereais
Fontes menos relevantes	<i>A. giganteus, A. longivesica, P. clavigerum, P. concentricum, P. coprobium, P. dipodomycicola, P. glandicola, P. gladioli, P. marinum, P. paneum, P. sclerotigenum, P. vulpinum, Byssochlamys nivea, Paecilomyces saturatus</i>	
Fumonisinás	<i>F. verticillioides</i>	Milho
	<i>F. proliferatum</i>	Milho
	<i>F. globosum</i>	Milho
Fontes menos relevantes	<i>Fusarium acutatum, F. andiyazi, F. anthophilum, F. begoniae, F. brevicatenilatum, F. dlamini, F. equiseti, F. fujikuroi, F. globosum, F. lactis, F. napiforme, F. nygamai, F. oxysporum, F. phyllophilum, F. polyphialidicum, F. pseudocircinatum, F. pseudonygamai, F. ramigenum, F. redolens, F. sacchari, F. sambucinum, F. solani, F. subglutinans, F. thapsinum, Tolyposcladium cylindrosporium, T. geodes, T. inflatum</i>	
Desoxinivalenol	<i>F. graminearum</i>	Milho, cereais
	<i>F. culmorum</i>	Cereais
Fontes menos relevantes	<i>F. pseudograminearum</i>	
Zearalenona	<i>F. graminearum</i>	Milho, cereais
	<i>F. culmorum</i>	Milho, cereais
Fontes menos relevantes	<i>F. crockwellense, F. equiseti, F. semitectum, F. heterosporum</i>	

Ocratoxina A

A OTA pode encontrar-se no café, vinho tinto e frutos secos mas a sua principal fonte são os cereais e os seus derivados (Jørgensen *et al.*, 1996). É produzida principalmente por *Penicillium verrucosum*, *Aspergillus westerdijkiae* (previamente conhecido como *A. ochraceus*) e *A. carbonarius*. Outro fungo produtor é o *Aspergillus niger*. Esta última espécie, apesar de

ser uma espécie ubíqua e muito comum em produtos como as uvas e o grão de café verde, produz OTA em pequena quantidade e só uma pequena percentagem das estirpes é produtora. Mais relevante é o *A. carbonarius*, que é apontado como a principal fonte de OTA em produtos derivados de uvas como os vinhos, os sumos de uva e as uvas passas (Frisvad *et al.*, 2006). Está também associado à presença de OTA no café. A incidência desta espécie nestes produtos é baixa mas todas as estirpes são produtoras de OTA em grandes quantidades. Nos cereais, a principal fonte de OTA é o *P. verrucosum*, que ocorre principalmente nas culturas de centeio e trigo das zonas temperadas. *A. westerdijkiae* ocorre sobretudo em cereais armazenados, café e frutos secos, é uma das principais fontes de OTA (Pitt, 2000). Outras fontes menos relevantes são *Penicillium nordicum*, que ocorre quase exclusivamente em produtos cárneos, *Petromyces alliaceus*, que ocorre frequentemente em figos secos, e *Aspergillus steynii*, que pode ocorrer em grãos de café verde, soja e arroz (Frisvad *et al.*, 2006).

Patulina

A patulina é uma micotoxina que ocorre sobretudo em maçãs e produtos alimentares derivados destas como sumos ou purés. O seu principal produtor é *P. expansum* que possui uma relação ecológica muito próxima com estes frutos, causando a sua podridão. Peras, alperces, pêssegos, uvas e alguns vegetais frescos são também susceptíveis a contaminação por *P. expansum*. Existem muitos outros produtores distribuídos pelos géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Byssochlamys* e *Paecilomyces* mas o seu impacto nos alimentos é residual. Como para outras micotoxinas, estão reportadas na literatura inúmeras espécies produtoras, mas revisões recentes concluíram que o seu número é de facto bem menor (Tabela 2).

Fumonisinias

As FUM dividem-se em vários grupos estruturais distintos. As mais relevantes pertencem à serie B. A fumonisina B1 (FB1) é de todas a mais abundante pois representa cerca de 70% do total das fumonisinas produzidas por *Fusarium verticillioides* (antigamente *Fusarium moniliforme* = *Gibberella fujikuroi*) e *F. proliferatum*. Estas duas espécies ocorrem no milho um pouco por todo o mundo, sendo a principal fonte de FUM neste produto. As FUM encontram-se quase exclusivamente no milho e pontualmente no trigo, centeio, painço, sorgo, chá e arroz. *F. verticillioides* e *F. proliferatum* crescem a diversas temperaturas (entre 4 e 37 °C com ótimo a 30 °C) mas apenas a atividades de água elevadas (superiores a 0.9 a_w) (Magan & Olsen, 2004). Por isso, estão predominantemente associados a contaminações pré-colheita e não constituem grande perigo para os alimentos na fase de armazenamento ao contrário das espécies de *Aspergillus* ou de *Penicillium*. Recentemente demonstrou-se que *A. niger* também pode produzir fumonisina B2 (FB2) (Frisvad *et al.*, 2007), o que aumenta o risco de contaminação em produtos armazenados. No entanto, a extensão do seu impacto ainda é pouco conhecida. Outras espécies produtoras menos relevantes estão descritas na Tabela 2.

Desoxinivalenol

O desoxinivalenol (DON) é um tricoteceno encontrado com frequência em milho, aveia, cevada, centeio, sementes de girassol e trigo. Os tricotecenos constituem uma família de cerca de 200 metabolitos produzidos principalmente por espécies do género *Fusarium*. *Fusarium graminearum* e *F. culmorum* são as principais fontes de DON, ocorrendo

predominantemente no milho e cereais. Estas espécies têm diferentes temperaturas ótimas de crescimento (25 e 21 °C, respetivamente) o que influencia a sua distribuição geográfica.

F. culmorum é predominante nos territórios mais frios e *F. graminearum* nas zonas mais temperadas. Estes fungos têm ainda a particularidade de produzir outros tricotecenos como 15-acetildesoxinivalenol, 3-acetildesoxinivalenol, nivalenol, 4-acetilnivalenol e fusarenona-X, o que acarreta riscos toxicológicos acrescidos. Devido a esta diversidade metabólica, presentemente considera-se que *F. graminearum* é um complexo de 9 espécies com várias linhagens e vários quimiotipos distintos (O'Donnell *et al.*, 2004). Nos países desenvolvidos, onde os cereais são secos para humidades inferiores a 14%, de modo a prevenir o crescimento de fungos, o DON surge principalmente no campo. No entanto, esta micotoxina também pode ser produzida durante o armazenamento em países onde o controlo da humidade é menos rigoroso. A produção de DON nos campos depende na sua maioria das condições climáticas, sendo favorecida por baixas temperaturas e alta humidade.

Zearalenona

A ZEA é uma das micotoxinas mais comuns produzidas por espécies de *Fusarium* (Bennett & Klich, 2003). *F. graminearum* e *F. culmorum* são os seus principais produtores, dada a sua alargada distribuição nas culturas de milho, aveia, centeio, trigo, sorgo e cevada em regiões temperadas da América, Europa e Ásia. Esta micotoxina ocorre em simultâneo com o DON nestas culturas pois são produzidas pelos mesmos fungos, mas a ZEA é geralmente encontrada em menores quantidades do que o DON (Krska *et al.*, 2003). Tal como para o DON, a produção de ZEA ocorre principalmente antes da colheita. No entanto, pode ser também produzida após a colheita se os grãos não forem secos e armazenados corretamente.

Conclusão

A contaminação dos produtos alimentares por fungos e a posterior contaminação com micotoxinas é uma preocupação que não pode ser ignorada. A eliminação completa da presença de ambos não é possível e, por esta razão, é essencial conhecer a diversidade e incidência de espécies micotoxigénicas, tanto no campo como no armazenamento, de modo a se poder reduzir o risco de contaminação.

Referências

Bennett, J. W. and Klich, M. 2003. Mycotoxins. *Clin Microbiol Rev.* 16:497-516.

CAST. 2003. Mycotoxins: Risks in Plant, Animal, and Human systems. Council for Agriculture Science and Technology, CAST, Ames, Iowa, USA.

FAO/IAEA. 2001. Manual on the application of the HACCP system in mycotoxin prevention and control, p. 2. Food and Nutrition Division, FAO, Rome, Italy.

Frisvad, J. C., Smedsgaard, J., Samson, R. A., Larsen, T. O. and Thrane, U. 2007. Fumonisin B₂ production by *Aspergillus niger*. *J Agric Food Chem.* 55:9727-9732.

- Frisvad, J. C., Thrane, U., Samson, R. A. and Pitt, J. I. 2006. Important mycotoxins and the fungi which produce them. *Adv Food Mycol.* 571:3-31.
- Frisvad, J. C., Skouboe, P. and Samson, R. A. 2005. Taxonomic comparison of three different groups of aflatoxin producers and a new efficient producer of aflatoxin B₁, sterigmatocystin and 3-O-methylsterigmatocystin, *Aspergillus rambellii* sp. nov. *Syst Appl Microbiol.* 28:442-453.
- Goldblatt, L. A. 1969. Aflatoxin: scientific background, control, and implications. Academic Press, New York, USA.
- Horn, B. W. 2005. Colonization of wounded peanut seeds by soil fungi: selectivity for species from *Aspergillus* section *Flavi*. *Mycologia.* 97:202-217.
- Jørgensen, K., Rasmussen, G. and Thorup, I. 1996. Ochratoxin A in Danish Cereals 1986-1992 and Daily Intake by the Danish Population. *Food Addit Contam.* 13:95-104.
- Krska, R., Pettersson, H., Josephs, R. D., Lemmens, M., Mac Donald, S. and Welzig, E. 2003. Zearalenone in maize: stability testing and matrix characterisation of a certified reference material. *Food Addit Contam.* 20:1141-1152.
- Logrieco, A., Bottalico, A., Mule, G., Moretti, A. and Perrone, G. 2003. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. *Eur J Plant Pathol.* 109:645-667.
- Magan, N. 2006. Mycotoxin contamination of food in Europe: Early detection and prevention strategies. *Mycopathologia.* 162:245-253.
- Magan, N. and Olsen, M. 2004. Mycotoxins in food: Detection and control. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England.
- Mogensen, J. M. 2012. Significance and occurrence of fumonisins from *Aspergillus niger*. Center for Microbial Biotechnology, Department of Systems Biology, Technical University of Denmark. Available at: http://orbit.dtu.dk/services/downloadRegister/52203032/F_rdig_afhandling1.pdf
- Mogensen, J. M., Moller, K., Freiesleben, P., Labuda, R., Varga, E., Sulyok, M., Kubátová, A., Thrane, U., Andersen, B. and Nielsen, K. 2011. Production of fumonisins B₂ and B₄ in *Tolypocladium* species. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 38:1329-1335.
- Olsen, M., Johnsson, P., Möller, T., Paladino, R. and Lindblad, M. 2008. *Aspergillus nomius*, an important aflatoxin producer in Brazil nuts? *World Mycotoxin J.* 1:123-126.
- O'Donnell, K., Ward, T. J., Geiser, D. M., Corby Kistler, H. and Aoki, T. 2004. Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the *Fusarium graminearum* clade. *Fungal Genet Biol.* 41:600-623.
- Pitt, J. I. 2000. Toxigenic fungi and mycotoxins. *Br Med Bull.* 56:184-192.

Pitt, J. I. and Hocking, A. D. 2009. *Fungi and Food Spoilage*, 3rd edition. Springer, New York, USA.

Puel, O., Galtier, P. and Oswald, I. P. 2010. Biosynthesis and toxicological effects of patulin. *Toxins*. 2:613-631.

Rodrigues, P., Venâncio, A., Kozakiewicz, Z. and Lima, N. 2009. A polyphasic approach to the identification of aflatoxigenic and non-aflatoxigenic strains of *Aspergillus* Section *Flavi* isolated from Portuguese almonds. *Int J Food Microbiol*. 129:187-193.

Soares, C., Rodrigues, P., Peterson, S. W., Lima, N. and Venâncio, A. 2012. Three new species of *Aspergillus* section *Flavi* isolated from almonds and maize in Portugal. *Mycologia*. 104:682-697.

Varga, J., Frisvad, J. C. and Samson, R. A. 2011. Two new aflatoxin producing species, and an overview of *Aspergillus* section *Flavi*. *Stud Mycol*. 69:57-80.

Varga, J., Rigó, K., Toth, B., Téren, J. and Kozakiewicz, Z. 2003. Evolutionary relationships among *Aspergillus* species producing economically important mycotoxins. *Food Tech Biotechnol*. 41:29-36.

Wild, C. P. and Gong, Y. Y. 2010. Mycotoxins and human disease: a largely ignored global health issue. *Carcinog*. 31:71-82.

Afiliação e agradecimentos

C. Soares, L. Abrunhosa, A. Venâncio

IBB, Institute for Biotechnology and Bioengineering, Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal; Tel.: +351-253604413; Fax: +351-253604429.

www.uminho.pt

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo apoio financeiro através do projeto FCT PEst-OE/EQB/LA0023/2011.

--	--

--