

O cultivo do arroz e a resposta do agrossistema às alterações ambientais de temperatura e dióxido de carbono

A cultivar de arroz Ariete apresentou uma eficiência máxima de uso do N de 64% e uma produção de 8,5 t ha⁻¹, após aplicação de 120 kg N ha⁻¹, metade em fundo e metade ao afilhamento. Os fatores de emissão de GEEs medidos no campo foram de 136 kg CH₄ ha⁻¹ e 1,5% para o N₂O. As emissões de COVs (especialmente na forma de terpenos) e NH₃ foram reduzidas, mas atingiram 8 kg N-NH₃ ha⁻¹ dia⁻¹ após a adubação de cobertura.

N. Figueiredo, R. Menino, A. Prazeres, P. Fareleira, A. Vargues, C. Carranca . INIAV

P. Marques . COTArroz

J. Pereira, P. Goufo, H. Trindade, J. Carneiro . CITAB

N. Couto, E. Mateus, A. Ribeiro . CENSE, FCT/UNL

J. Coutinho . Centro de Química, UTAD

Importância do arroz em Portugal e no mundo Na alimentação

Portugal é o quarto maior produtor de arroz (*Oryza sativa* L.) entre os 27 Estados-Membros, com uma produção de 157 Mt, depois da Itália (1493 Mt), Espanha (899 Mt) e Grécia (205 Mt). A área de cultivo de arroz em Portugal tem sofrido um decréscimo, estabilizando nos 28 Mha (Fig. 1). No entanto, a produtividade registou um aumento (≥ 6 t ha⁻¹).

As principais regiões de cultivo de arroz em Portugal são a Beira Litoral, o Ribatejo e Oeste, o Alentejo e o Algarve, em especial junto aos rios Mondego, Tejo e Sado. A produção no país é da subespécie japonica (70%) e 30% do tipo indica.

Dentre os cereais, o arroz apresenta maior teor de glúcidos, mas menores teores de proteína, lípidos e fibra. No entanto, a proteína do arroz é a mais nobre, apresentando melhor composição de aminoácidos, favorecendo a função renal. O processo físico de branqueamento do arroz que inclui o descasque (eliminação das glumélulas), a eliminação das cutículas do pericarpo e o polimento provocam uma redução no teor de sais minerais, vitaminas (B e α -tocoferol-vitamina E) e fibra (Quadro 1). O arroz não contém as vitaminas A e D.

Existem problemas associados a uma deficiente nutrição quando a dieta assenta, fundamentalmente, no arroz. É o caso da cegueira provocada pela deficiência em vitamina A, xeroftalmia. De modo a combater esta hipovitaminose foi criado um arroz geneticamente modificado, denominado 'Golden Rice', capaz de produzir β -caroteno (provitamina A) que o corpo humano converte em vitamina A. A deficiência de Fe no arroz é outro problema, sobretudo nas crianças. As abordagens biotecnológicas para manipular

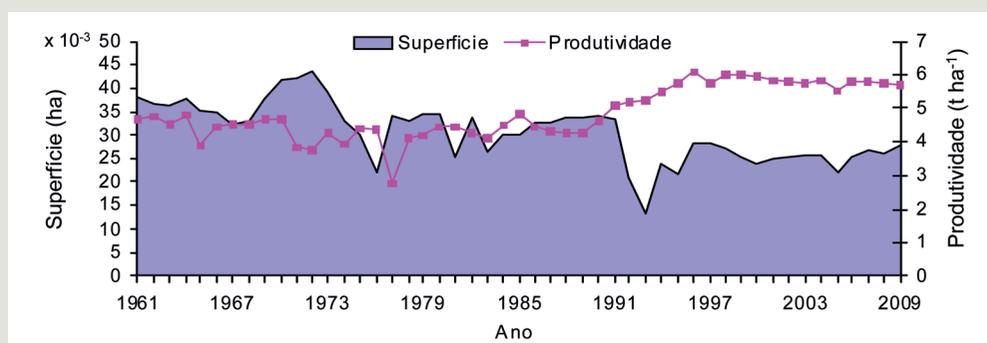


Figura 1 – Evolução da área e produtividade do arroz em Portugal (Figueiredo, 2011)

a ferritina na semente de arroz poderão resolver esta deficiência. Para estes avanços na manipulação do arroz contribuiu o facto de o arroz ter sido a primeira planta a ter o genoma completamente sequenciado para as subespécies indica e japonica (IRGSP, 2005).

Na biodiversidade

Os campos alagados de arroz são habitat para várias espécies de flora e fauna (locais de reprodução e nidificação) e oferecem refúgio a animais que povoam o agrossistema, contribuindo para o aumento da biodiversidade (Fig. 2). Muitos dos organismos aquáticos dos agrossistemas de arroz desempenham um papel importante no controlo biológico de doenças e pragas.

Principais fatores edafo-climáticos no cultivo do arroz

As condições de cultivo do arroz variam com a disponibilidade hídrica, o clima e o tipo de solo. O arroz pode ser produzido em diferentes condições climáticas, desde zonas com precipitação > 5100 mm até zonas com precipitação anual < 100 mm. Para além da precipitação, a temperatura e a radiação solar são também importantes. As maiores produtividades de arroz são obtidas nas re-

giões temperadas, com temperaturas médias de 13-20 °C na primavera, durante o crescimento, e uma temperatura mínima de 19 °C na fase maturação do grão, no outono. O arroz japonica germina melhor a temperaturas mais baixas, por comparação com o indica. Elevadas temperaturas na primeira semana após a germinação podem provocar proble-

QUADRO 1 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO ARROZ CRU (100 g¹ DE MATÉRIA SECA) (INSA, 2010)

Característica	Arroz integral	Arroz branqueado
Água, g	12	14
Proteína, g	9	7
Lípidos, g	3	0,4
Glúcidos, g	72	78
Fibra, g	4	2
Sódio, mg	3	6
Potássio, mg	248	94
Cálcio, mg	9	13
Fósforo, mg	267	87
Magnésio, mg	109	32
α -tocoferol (vit. E), mg	0,1	0,7
Tiamina (vit. B1), mg	0,4	0,1
Riboflavina (vit. B2), mg	0,1	0,03
Niacina (vit. B3), mg	4,1	2
Vitamina B6, mg	0,6	0,3
Folatos, μ g	55	19

Arroz integral – arroz não descascado

Arroz branqueado – arroz que sofreu o processo de branqueamento



Figura 2 – Campos de arroz cultivado (a) e pós-colheita (b), com a presença da cegonha-branca (*Ciconia ciconia* L.) (Figueiredo, 2011)

mas na emergência das plântulas. Num ensaio de campo realizado durante dois anos consecutivos (2011 e 2012), no COTArroz (Salvaterra de Magos), verificou-se uma redução de 30% na produção de arroz japonica 'Ariete' por efeito dum aumento médio de 3 °C, especialmente nas fases de emergência e afilhamento. Com baixas temperaturas, a radícula desenvolve-se mais lentamente que o coleóptilo (Fig. 3), enquanto temperaturas elevadas provocam o oposto. Na fase reprodutiva, desde o início da formação de panícula até ao final da floração, as baixas temperaturas podem causar a esterilidade das espiguetas. A temperatura ótima nesta fase situa-se nos 22-24 °C. A persistência de dias frios e chuvosos no início do espigamento pode atrasar a floração e induzir a esterilidade, formando-se glumas brancas em vez de verdes e o consequente aumento do número de grãos vazios. O período mais sensível corresponde ao emborrachamento (10 dias antes do espigamento), quando se formam os grãos de pólen.

A manutenção da lâmina de água à superfície do solo permite controlar as flutuações térmicas diárias de temperatura do ar, especialmente o arrefecimento noturno usual nas condições de Portugal. Alturas elevadas de lâmina de água (> 15 cm) permitem maior estabilidade térmica diária, mas promovem um consumo exagerado de água e potenciam um crescimento excessivo das plantas, tornando-as menos resistentes à acama. Também, quanto mais alta for a lâmina de água na fase de diferenciação da panícula, maior será o número de flores estéreis.

As plantas sintetizam os açúcares através da fotossíntese, utilizando a **radiação solar**, a água e o CO₂. A maioria dos glúcidos armazena-se no grão dos cereais, sob a forma de amido. Além da fotossíntese, a intensida-

de luminosa influencia outros processos fisiológicos, como a transpiração e a absorção radicular de água e nutrientes. À semelhança da temperatura, as necessidades de radiação solar da cultura do arroz diferem com os estados fenológicos da planta. Durante o período vegetativo (primeiras 3-4 semanas), a radiação solar afeta ligeiramente o desenvolvimento da planta. No entanto, a ausência de luz após a formação do coleóptilo provoca um alongamento excessivo da plântula. Posteriormente, a radiação contribui menos que a temperatura para o afilhamento e altura das plantas. O período de maior necessidade de luz situa-se desde a diferenciação da panícula até à fase de grão pastoso. Nesta fase, a radiação afeta o número de espiguetas, ou seja, a produtividade. No período de maturação, o ensombramento reduz o enchimento do grão e a produção.

A planta de arroz está bem adaptada a grande diversidade de **solos**. Para uma ótima produtividade, o solo deve ter boa profundida-

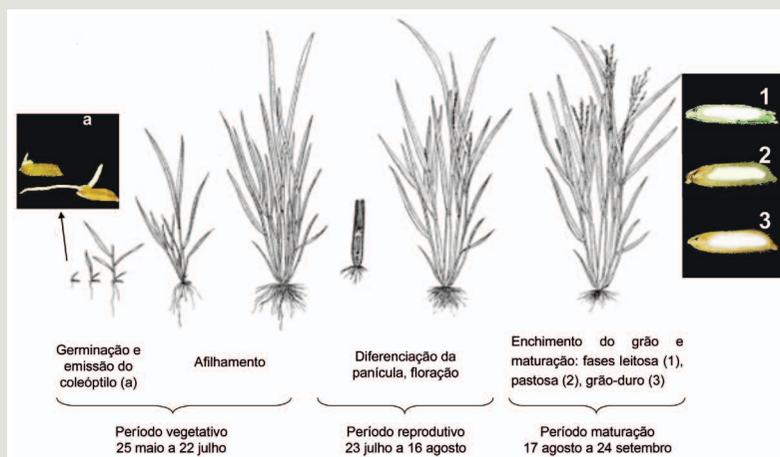


Figura 3 – Estados fenológicos e datas de cada fase para a 'Ariete' (Salvaterra de Magos) (Figueiredo, 2011)

de e presença dum horizonte imperme que permita boa retenção de água para o cultivo por alagamento. Os solos de textura argilosa e argilo-limosa são os mais adequados. No entanto, num estudo realizado durante três anos em dois tipos de solos (areno-franco e franco-argiloso) do COTArroz, não se ve-

rificaram diferenças na produção de arroz 'Ariete' por alagamento (6-7,5 t ha⁻¹).

Sistemas de cultivo do arroz

O cultivo do arroz depende do **regime hídrico** dominante, incluindo o regadio (alagamento, aspersão), o sequeiro e águas profundas. O cultivo por alagamento é o mais usado, sendo caracterizado pelo alagamento dos canteiros de forma controlada, durante pelo menos 80% do ciclo vegetativo.

No COTArroz, o nível de água à superfície do solo é de 5-10 cm durante a fase da sementeira; após a emergência, os canteiros são drenados durante 3-4 dias para favorecer o enraizamento das plântulas; de seguida, o solo é alagado, com uma lâmina de água de 10-20 cm de altura; cerca de 35-40 dias após a sementeira, drenam-se de novo os canteiros para proceder à monda química; após a floração, o nível de água mantém uma altura de 10-15 cm até 15 dias antes da colheita nos solos de textura areno-franca, e três semanas nos solos franco-argilosos para favorecer a mobilização do N na planta para o grão, aumentar o fornecimento de O₂ às raízes, retardando a senescência e permitir o fornecimento de citocinina (hormona de crescimento vegetal) à parte aérea da planta (Figueiredo, 2011).

O alagamento origina alterações físico-químicas e biológicas no solo, com benefício para o desenvolvimento do arroz. Entre as vantagens encontra-se o aumento da disponibilidade do P e pH, bem como, um melhor controlo das infestantes. Como desvantagens, encontram-se, a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) (metano - CH₄ e óxido

hiponitroso - N₂O) e a volatilização do amoníaco (NH₃) para a atmosfera e também a diminuição da solubilidade no solo do Zn e Cu. As alterações verificadas no solo devem-se a processos de oxidação-redução. Estes processos provocam aumento do pH nos solos ácidos e diminuição nos solos alcalinos, para próximo da neutralidade, logo após os primeiros 2-3 dias de alagamento. A subida do pH está relacionada com a redução dos óxidos de Fe e Mn, e o decréscimo deve-se à libertação de bicarbonatos (HCO₃⁻) pela respiração do solo devido à decomposição da matéria orgânica.

As alterações físicas do solo incluem a estrutura, criando uma camada compacta, com diminuição da porosidade entre os 15-25 cm de profundidade. Esta condição é desejada para evitar as perdas de água por percolação. A al-

teração da estrutura pode tornar estes solos impróprios para outras culturas, sendo aconselhável a rotação cultural para diminuir este efeito adverso, mas raramente é praticada em Portugal.

A nutrição azotada e a dinâmica do azoto nos campos alagados de arroz

O azoto (N) é o responsável pela formação dos aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, entre outros, estimulando o rápido crescimento da planta (aumenta a altura e o número de filhos), a área foliar, o número de espiguetas por panícula, a percentagem de enchimento das espiguetas/panícula e a qualidade da proteína no grão, sendo normalmente necessário em maiores quantidades que qualquer outro nutriente. A gestão do N na cultura do arroz é difícil, especialmente nos solos alagados. A otimização da eficiência do uso do N (EUN) pela cultura do arroz é fundamental. Define-se aqui EUN como a relação entre o N na planta por unidade de fertilizante aplicado. Estimou-se para a 'Ariete', cultivada no solo areno-franco, uma EUN de 64%, por aplicação de 120 kg N ha⁻¹, metade em fundo e metade à cobertura (ao afilhamento). Uma segunda aplicação da adubação de cobertura, ao enchimento do grão, atrasou a maturação e não se revelou economicamente interessante.

Para o cultivo de arroz por alagamento recomenda-se a aplicação de N na forma amoniacal (NH₄⁺) ou ureica, visto que o N fornecido na forma nítrica (NO₃⁻) é perdido por lixiviação ou por desnitrificação (NO, N₂O, N₂). O NH₄⁺ é um catião que se liga ao complexo de troca do solo ou "fixa-se" nos minerais argilosos. O sulfato de amónio pode ser mais eficiente quando aplicado em solos alcalinos (porque acidifica o solo) ou quando o N não é incorporado no solo. A ureia está sujeita a hidrólise formando NH₃ que pode ser perdido por volatilização, ou subsequentemente lixiviado, após nitrificação (transformação no solo de NH₄⁺ em NO₃⁻), se não for imediatamente absorvido pelas plantas.

O azoto orgânico resultante da incorporação no solo dos resíduos da cultura anterior (palha + raiz do arroz) é mineralizado (1) produzindo NH₄⁺ (Fig. 4). Em condições aeróbias, o NH₄⁺ do fertilizante mineral ou resultante da mineralização do N_{orgânico} sofre nitrificação (2) por ação das bactérias nitrificantes. Este processo pode ocorrer quando o solo está drenado ou na rizosfera. Após o alagamento, o O₂ presente na porosidade do solo é substituído pela água, provocando condições de anaerobiose e desnitrificação (transformação no solo de NO₃⁻ em N₂O e N₂) (3) por ação das bactérias desnitrificantes heterotróficas

(desnitrificação biológica) ou reação química (desnitrificação química) por redução espontânea de compostos orgânicos.

O NH₄⁺ pode ficar temporariamente indisponível no solo para as plantas, não sendo considerado como perda. Esta indisponibilidade temporária pode ser biológica ou física. No primeiro caso, o NH₄⁺ é assimilado pelos microrganismos (4), no segundo caso é adsorvido ou "fixado" nas argilas. As perdas efectivas do N podem ocorrer por lixiviação de NO₃⁻ (5), volatilização do NH₃ (6), escorrença superficial ou desnitrificação (3).

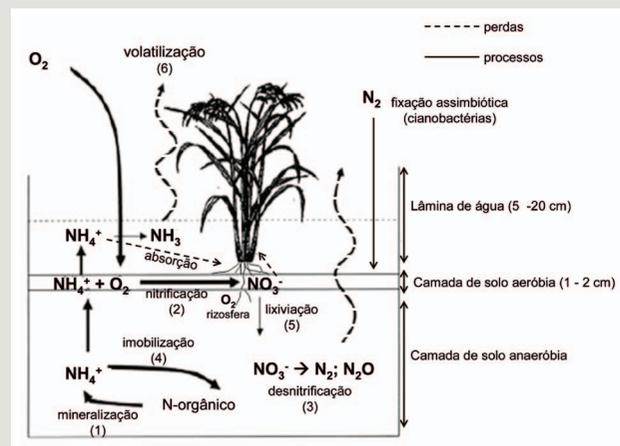


Figura 4 – Dinâmica do N em solos alagados de produção de arroz (Figueiredo, 2011)

No alagamento, o N_{orgânico} continua a ser mineralizado lentamente em condições de anaerobiose, porque os microrganismos responsáveis pela mineralização são aeróbios facultativos, formando o NH₄⁺ que é utilizável pela planta do arroz. Nos ensaios realizados no COTArroz verificou-se que o alagamento favoreceu a imobilização do N após incorporação dos resíduos no solo areno-franco, assumindo uma temperatura média de 25 °C, enquanto a mesma temperatura potenciou a mineralização do N no solo franco-argiloso. Por este motivo aconselha-se adubação mineral basal com 60 kg N ha⁻¹ naquele solo evitando um efeito depressivo durante a germinação, mas esta adubação é desnecessária no solo franco-argiloso. As menores taxas de respiração induzida por substrato (SIR) foram observadas no solo mais grosseiro, comparativamente com o solo mais argiloso. O aumento médio de 3 °C durante o ciclo cultural do arroz potenciou um aumento da taxa SIR. O aumento simultâneo da temperatura e [CO₂] não promoveu um aumento desta taxa relativamente às condições ambientais normais do local.

A emissão de gases poluentes com origem nos campos alagados de arroz

O cultivo de arroz por alagamento está sujeito a ciclos alternados de aerobiose e anaero-

biose. O alagamento diminui a difusão de O₂ à superfície (1-2 cm), em contacto com a lâmina de água. Abaixo desta camada o solo apresenta condições de anaerobiose, exceto na rizosfera, onde o O₂ transportado pelo aerênquima (modificação do córtex das raízes), se difunde por gradiente, entre o interior da raiz e o solo. O aerênquima é o responsável pela emissão de algum CH₄ e N₂O nos campos de arroz para a atmosfera. Nos solos alagados, o CH₄ é o produto final da decomposição dos compostos orgânicos pela ação dos organismos metanogénicos anaeróbios obrigatórios do domínio Archaea. A incorporação de resíduos no solo próximo do início do alagamento produz até 3-4 vezes mais CH₄ comparado com a incorporação de resíduos ≥ 30 dias antes do alagamento dos canteiros.

Dados obtidos em Salvaterra de Magos, em ensaios experimentais de campo em dois tipos de solos (areno-franco e franco-argiloso), mostraram um ligeiro aumento da emissão de CH₄ após a incorporação dos resíduos da cultura de arroz antecedendo a sementeira no solo areno-franco, enquanto no solo

franco-argiloso não se observou a emissão deste gás. Os fluxos de CH₄ permaneceram constantes entre a adubação de fundo e de cobertura (0,19 kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹). Após a adubação de cobertura, verificou-se um aumento progressivo dos fluxos de CH₄ até à maturação (0,67 kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹). As maiores emissões de CH₄ acumuladas durante os ciclos culturais do arroz foram medidas no solo areno-franco (153 kg ha⁻¹), comparativamente com o solo franco-argiloso (117 kg ha⁻¹). No que respeita ao N₂O, as maiores emissões verificaram-se 2-3 dias após as adubações de fundo e de cobertura. A emissão de NH₃ foi reduzida durante o ciclo cultural do arroz, mas apresentou um pico de emissão na primeira quinzena de Julho (8 kg N-NH₃ ha⁻¹ dia⁻¹), após a adubação de cobertura (sulfamid com 40% N). A gestão da água nos períodos de alagamento/drenagem das parcelas e o tipo de fertilizante azotado aplicado são práticas culturais que têm potencial para a mitigação destas emissões.

Os fatores de emissão (FE) obtidos nos ensaios experimentais realizados (aumento da temperatura do ar em 3 °C e da [CO₂] atmosférico atual para 550 ppm) foram 126 kg ha⁻¹ para o CH₄ e 1,5% do N aplicado para o N₂O. Verificou-se que um aumento médio da temperatura do ar em 3 °C durante o ciclo cultural, isoladamente ou em simultâneo com o

aumento da $[\text{CO}_2]$ para 550 ppm, pode conduzir a um incremento de 50% na emissão de CH_4 , mas sem efeito na emissão de N_2O . Os compostos orgânicos voláteis (COVs) emitidos do agrossistema foram vestigiais durante o período cultural. Dentre estes COVs emitidos, a cultivar 'Ariete' libertou especialmente terpenos, em particular em condições de stresse abiótico (aumento da temperatura e $[\text{CO}_2]$).

As cianobactérias nos campos alagados de arroz

As cianobactérias constituem um grupo de procariotas fotossintéticos de habitats marinhos e terrestres. São microrganismos ubíquos que podem fixar o N_2 livremente ou associados a algas ($30\text{--}76 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Nos dois tipos de solos (areno-franco e franco-argiloso) das parcelas experimentais de campo não se observaram diferenças na abundância de cianobactérias, mas verificou-se um acentuado decréscimo durante o ciclo cultural, possivelmente resultante da adubação azotada. Estes fixadores livres são recomendáveis em agricultura biológica, em substituição da fertilização mineral. Nas condições experimentais de campo, simulando os efeitos das alterações climáticas (aumento da temperatura do ar e da $[\text{CO}_2]$) verificou-se também em efeito inibidor do aumento da temperatura do ar na abundância desses organismos, mas o aumento simultâneo da $[\text{CO}_2]$ contrariou esse efeito.

Conclusões

A área atual de cultivo de arroz em Portugal é 28 Mha e a produtividade superior a 6 t ha^{-1} . O cultivo por alagamento é o mais usado, para controlar as variações de temperatura do ar e as infestantes. A cultivar Ariete revelou uma máxima produtividade de 9 t ha^{-1} e uma eficiência do uso do N de 64% num solo areno-franco, com aplicação de 120 kg N ha^{-1} , metade em fundo e metade em cobertura, ao afilhamento. Neste solo, uma temperatura de 25°C favoreceu a imobilização do N após incorporação dos resíduos e alagamento, mas potenciou a mineralização no solo franco-argiloso. Por este motivo aconselha-se adubação mineral de fundo com 60 kg N ha^{-1} no primeiro solo, não sendo necessária no segundo. No solo arenoso foram medidas as maiores emissões CH_4 acumuladas durante o ciclo cultural do arroz (153 kg ha^{-1}), comparativamente com o solo franco-argiloso (117 kg ha^{-1}), mas não se verificaram diferenças nas emissões de N_2O ($0,01 \text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Os fatores de emissão destes GEEs foram $136 \text{ kg CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ e 1,5% para o N_2O .

As emissões de COVs e NH_3 foram reduzidas, mas atingiram $8 \text{ kg N-NH}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ após a adubação de cobertura. Os COVs foram emitidos especialmente na forma de terpenos.

Um aumento médio da temperatura do ar de 3°C durante o ciclo vegetativo, isoladamente ou em simultâneo com o aumento da $[\text{CO}_2]$ para 550 ppm, pode conduzir a incremento de 50% na emissão de CH_4 , mas não influencia a emissão de N_2O . Neste cenário de alterações climáticas, o aumento da temperatura pode também reduzir em 30% a produção de arroz, e potenciar o aumento da biomassa microbiana ativa e a emissão de COVs. ☹

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT o financiamento concedido, através do projeto PTDC/AGR-AAM/102529/2008. Agradecem, ainda, ao COTArroz todas as facilidades concedidas para a realização dos estudos.

Bibliografia

Figueiredo N 2011. Dinâmica do Azoto em Campos Alagados de Arroz, em Salvaterra de Magos. Eficiência do Uso do Azoto pela Cultura. Tese de Mestrado, Lisboa
INSA 2010. Tabela de Composição dos Alimentos
IRGSP 2005. The map-based sequence of the rice genome. Nature 436:793-800

PUBLICIDADE
1/2 página