

COMO A PLANTA DE ARROZ SE DESENVOLVE

Cleber Morais Guimarães¹
Nand Kumar Fageria¹
Morel Pereira Barbosa Filho¹

PLANTA

O arroz é uma planta anual, adaptada a solos alagados, mas desenvolve-se bem em solos não alagados, e é formada de raízes, caule, folhas e panículas, que, na verdade, são um conjunto de espiguetas (Figura 1).

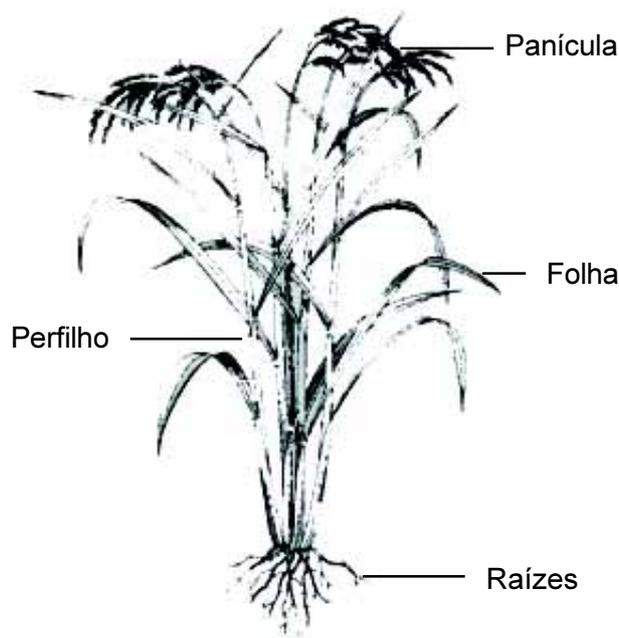


Figura 1. A planta de arroz (VERGARA, 1979).

RAÍZES

As raízes seminais, ou embriogênicas, são aquelas que se desenvolvem a partir do promeristema da raiz do embrião. São acompanhadas de raízes seminais secundárias, todas elas desenvolvendo raízes laterais. Persistem apenas por um curto período de tempo após a germinação, sendo logo substituídas pelo sistema secundário de raízes adventícias (PINHEIRO, 1999), que se originam dos nós inferiores dos colmos. Em condições especiais podem ocorrer

também as raízes mesocótilas, que emergem entre o nó do coleóptilo e a base da radícula. Elas se desenvolvem em condições de semeadura profunda, ou quando as sementes são tratadas com indutores químicos de crescimento.

O sistema radicular do arroz é formado basicamente de raízes adventícias. Em cada nó desenvolvem-se usualmente entre 5 e 25 raízes. As raízes que se desenvolvem diretamente da região nodal do colmo principal são denominadas raízes primárias. Com o avanço do crescimento das raízes primárias desenvolvem-se as secundárias e destas as terciárias, e assim por diante (Figura 2). O arroz irrigado pode desenvolver raízes de sexta ordem. O diâmetro da raiz primária varia de 0,5 a 1,0 mm, entretanto torna-se sucessivamente menor na seqüência das ramificações.

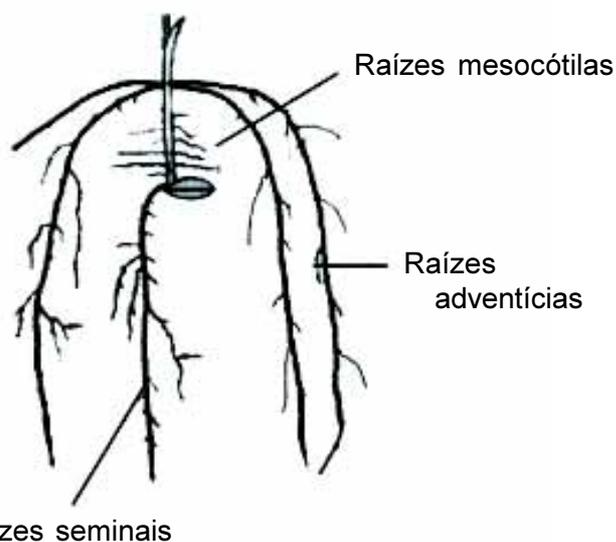


Figura 2. Os três tipos de raízes do arroz (HOSHIKAWA, 1975).

Observa-se um sincronismo de emergência dos perfilhos, das folhas e das raízes adventícias; quando a folha “n” emerge, um perfilho e raízes emergem simultaneamente do nó n-3 do mesmo colmo. Por exemplo, quando a sexta folha emerge, um perfilho e raízes começam a emergir do terceiro nó; da mesma maneira, quando a sétima folha emerge, um perfilho e raízes começam a emergir do quarto nó (Figura 3).

¹ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO. Telefone: (62) 533-2110. E-mail: cleber@cnpaf.embrapa.br; fageria@cnpaf.embrapa.br; morel@cnpaf.embrapa.br

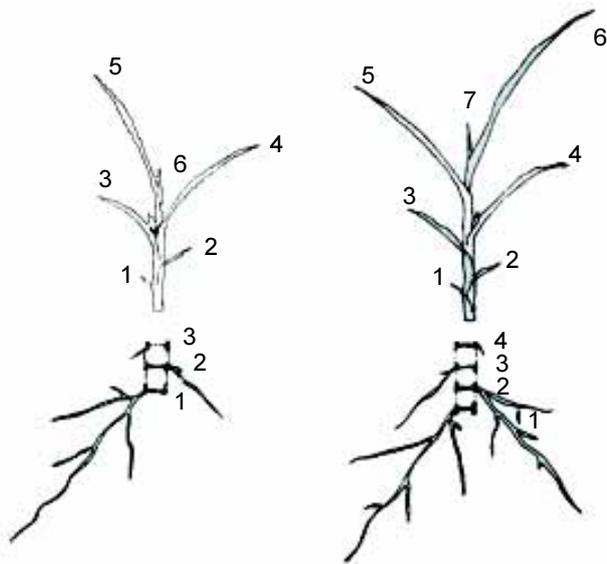


Figura 3. Crescimento sincronizado da folha, do perfilho e das raízes da planta de arroz (FUJII, 1974).

As raízes são formadas de três regiões. A primeira, atrás da coifa, protegida por esta, é a região meristemática, onde ocorre a divisão celular. Esta introduz novas células nas regiões imediatamente superiores do sistema radicular e repõe à coifa células que foram degradadas em função do crescimento radicular através do solo. Acima desta encontra-se a região de alongamento, onde ocorre o alongamento celular propriamente dito, e finalmente a região dos pêlos absorventes, formada por células maduras.

Os pêlos absorventes têm origem na epiderme e são responsáveis pela absorção de água e nutrientes. O córtex da raiz, geralmente, é constituído de células parenquimáticas, com acentuada presença de espaços intercelulares, com a formação de grandes lacunas, os aerênquimas. São comuns na planta de arroz e conectam raízes, colmos e folhas, propiciando um eficiente suprimento de oxigênio ao sistema radicular, mesmo em condições anaeróbicas (Figura 4).

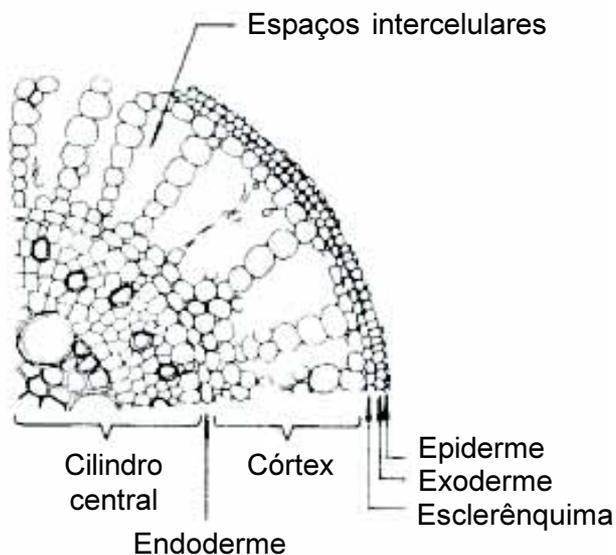


Figura 4. Seção transversal de uma raiz madura de arroz (HOSHIKAWA, 1975).

Os principais fatores que determinam o crescimento das raízes e dos pêlos absorventes são: a idade da planta, o suprimento de oxigênio, o teor de umidade, a temperatura, a disponibilidade de nutrientes, a pressão osmótica da solução do solo, os níveis tóxicos de elementos, a presença de patógenos, a textura do solo e o método de cultivo, além de, naturalmente, a cultivar. Os pêlos absorventes apresentam diâmetro de aproximadamente 5-10 μm e comprimento de aproximadamente 50-200 μm . Em condições anaeróbicas, a profundidade do sistema radicular raramente passa dos 40 cm (YOSHIDA, 1981), entretanto, o arroz de terras altas pode apresentar raízes a 140 cm de profundidade.

A pressão natural de seleção exercida no ecossistema de terras altas induziu alterações e adaptações, especialmente no hábito de crescimento radicular. De acordo com YOSHIDA & HASEGAWA (1982), de maneira geral, as cultivares tradicionais de terras altas apresentam raízes longas e espessas, enquanto as semi-anãs, geralmente irrigadas, finas e fibrosas. Normalmente, a maior relação raiz-parte aérea está relacionada a uma maior proporção de raízes espessas. Mesmo entre as cultivares de um mesmo ecossistema pode ocorrer variabilidade no sistema radicular. A cultivar Pérola, tradicional de terras altas, apresenta sistema radicular com maior relação matéria seca/comprimento radicular e menor densidade de comprimento radicular na camada superficial de 0-20 cm comparativamente à IAC 47, também de terras altas (Figuras 5 e 6).

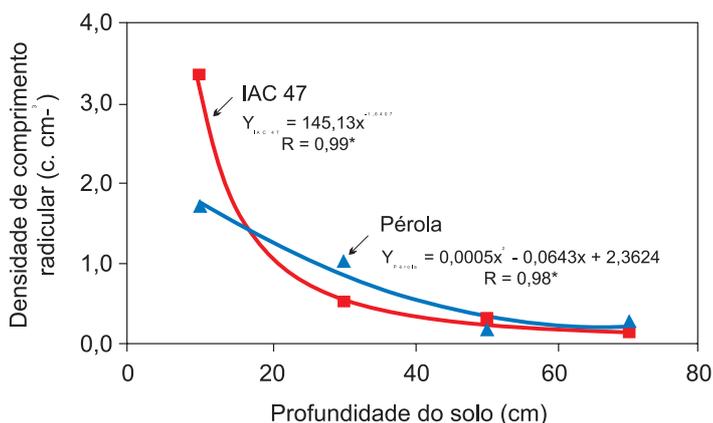


Figura 5. Densidade de comprimento radicular das cultivares IAC 47 e Pérola, nas camadas do solo de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade (GUIMARÃES et al., 2002).

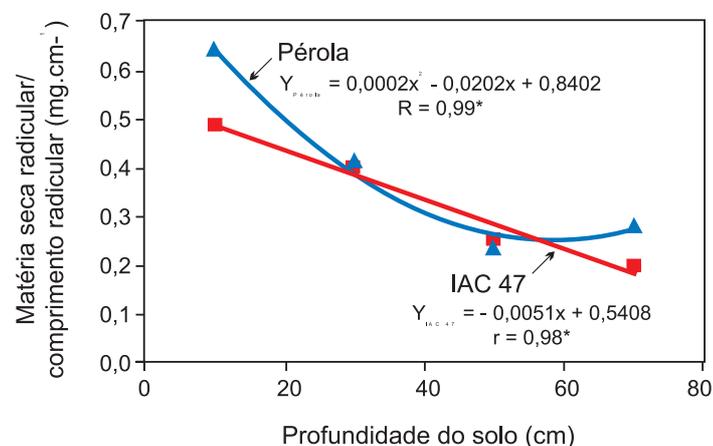


Figura 6. Relação matéria seca radicular/comprimento radicular das cultivares IAC 47 e Pérola, nas camadas do solo de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade (GUIMARÃES et al., 2002).

Conseqüentemente, a cultivar Pérola apresenta sistema radicular menos denso na camada superficial, porém raízes mais espessas, provavelmente com maior vigor para romper as camadas mais compactadas do solo e se estabelecer com maiores densidades nas camadas subsuperficiais do solo (GUIMARÃES et al., 2002).

CAULE

O caule da planta de arroz é composto por um colmo principal e um número variável de colmos primários e secundários, ou perfilhos. O colmo é constituído por nós e entrenós. É totalmente envolvido pela bainha antes da floração, porém pequena parte dele é exposta, abaixo da panícula, após a floração.

O número total de nós no colmo principal é igual ao número de folhas do colmo mais dois, que correspondem ao nó do coleóptilo e o da panícula. Somente uns poucos entrenós da parte superior do colmo alongam-se, os restantes mantêm-se compactados na base da planta. O último entrenó é o mais longo. Eles decrescem em comprimento em direção à base da planta. O número de entrenós alongados, de 3 a 8, dependendo das condições ambientais, é responsável pela altura quase total da planta.

O diâmetro externo dos entrenós, de 2-6 mm, varia com a sua posição, tipo de caule (colmo principal ou perfilho) e condições ambientais. Apresenta um espaço central vazio denominado cavidade medular. Feixes vasculares maiores encontram-se distribuídos no meio dos tecidos do entrenó. Adicionalmente, feixes vasculares menores localizam-se próximo da epiderme. Ocorrem, também, bolsas de ar entre os feixes vasculares (YOSHIDA, 1981).

O alongamento dos entrenós está correlacionado com a duração do crescimento (VERGARA et al., 1965). Ele começa geralmente a partir da iniciação do primórdio floral, nas cultivares precoces e de ciclo médio, porém antes da iniciação do primórdio floral nas de ciclo longo. As cultivares sensíveis ao fotoperíodo aumentam o número e o comprimento dos entrenós com o aumento daquele período, porém as insensíveis não sofrem nenhuma influência. A inundação profunda, no estágio inicial do crescimento da planta, induz o alongamento dos entrenós. O alongamento máximo, já observado, foi de 25 cm/dia, porém o comum é de 2 a 10 cm/dia (VERGARA et al., 1965). As características dos entrenós, tais como comprimento, diâmetro e espessura, determinam a resistência ao acamamento.

PERFILHAMENTO

Os perfilhos primários originam-se na base das folhas de cada nó não alongado, do colmo principal, durante o crescimento vegetativo. Estes, por sua vez, dão origem aos perfilhos secundários. Estes últimos, por fim, dão origem aos perfilhos terciários (Figura 7).

O perfilhamento começa no estágio de quatro a cinco folhas. Perfilhos e raízes emergem do mesmo nó ao mesmo tempo. Observa-se, também, um sincronismo de emergências de folhas, perfilhos e raízes, como descrito anteriormente.

Os perfilhos dependem dos nutrientes do colmo principal e independem deles quando já possuem três folhas. Nem todas as gemas axilares desenvolvem perfilhos. Algumas permanecem dormentes. Espaçamento, intensidade luminosa, disponibilidade de nutrientes, sistema de plantio, entre outros fatores, afetam o perfilhamento. A capacidade de perfilhamento é uma característica muito importante na cultivar (YOSHIDA, 1981).

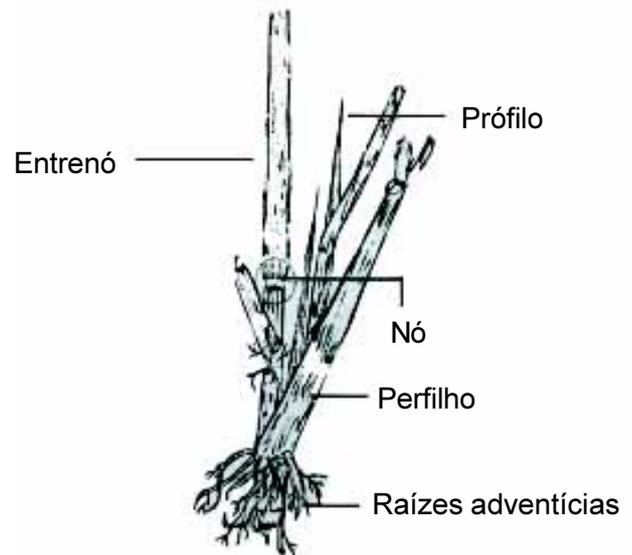


Figura 7. Planta de arroz com colmo principal, perfilho primário e secundário e raízes adventícias (CHANG & BARDENAS, 1965).

FOLHA

A primeira folha surgida do coleóptilo difere das demais por ser cilíndrica e não apresentar lâmina. Ela é denominada de prófilo ou folha incompleta. A segunda folha, e todas as demais, são dispostas de forma alternada no colmo, surgindo a partir de gemas situadas nos nós. A porção da folha que envolve o colmo denomina-se bainha e a pendente é a lâmina. Na junção dessas duas partes situa-se o colar, do qual emergem dois pequenos apêndices em forma de orelha, sendo por essa razão denominados de aurículas, e uma estrutura membranosa em forma de língua, denominada lígula (Figura 8). A partir do colmo principal originam-se de oito a quatorze folhas, dependendo do ciclo da cultivar. A última folha a surgir em cada colmo denomina-se folha-bandeira. Genótipos diferem quanto ao comprimento, largura, ângulo de inserção, pubescência e cor das folhas, entre outros (PINHEIRO, 1999). Nas cultivares não sensíveis ao fotoperíodo o número de folhas é constante sob a maioria das condições edafo-climáticas.

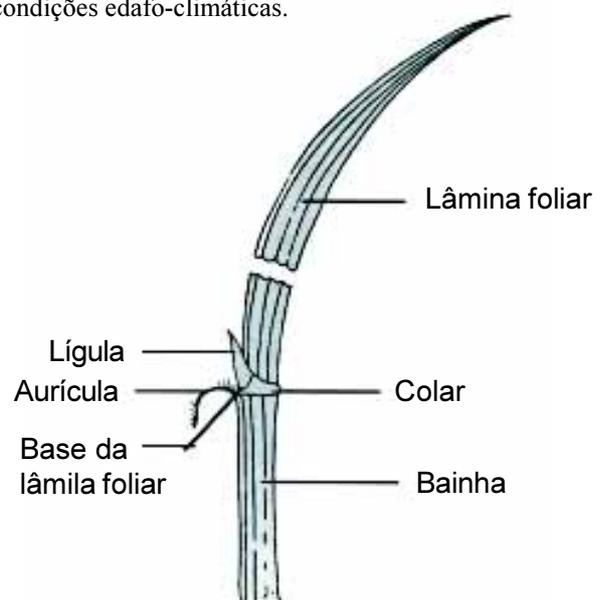


Figura 8. Morfologia foliar (VERGARA, 1979).

As nervuras são distribuídas paralelamente na lâmina foliar. Nelas estão os feixes vasculares e os espaços vazios. Os estômatos estão em ambos os lados da superfície da folha. Na bainha também ocorrem feixes vasculares, maiores e menores, e também espaços vazios, grandes e bem desenvolvidos, entre os feixes vasculares (Figura 9). Estes espaços vazios, assim como os presentes nas folhas, conectam os estômatos às raízes, através dos espaços vazios do caule. Eles são denominados de aerênquimas. Este sistema de conexão permite o suprimento adequado de oxigênio às raízes das plantas, mesmo no sistema de produção inundado (YOSHIDA, 1981).

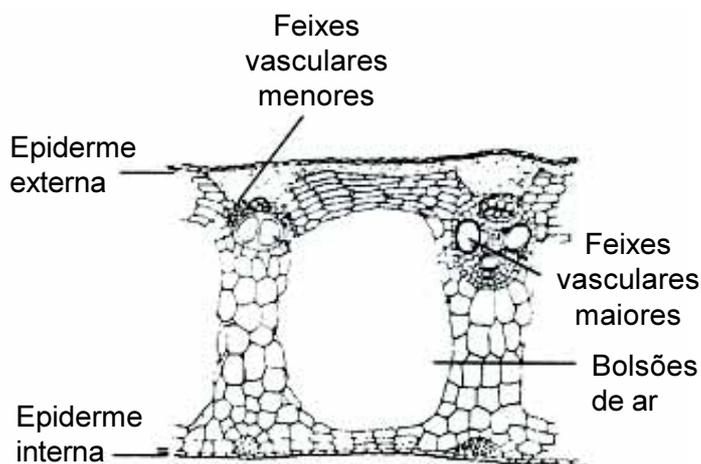


Figura 9. Seção transversal da bainha foliar (HOSHIKAWA, 1975).

A superfície foliar é avaliada pelo índice de área foliar (IAF). Este é a relação entre a área da superfície da folha por unidade de área do solo, e pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{IAF} = \frac{(\text{Área foliar de um perfilho em cm}^2 \times \text{n}^\circ \text{ de perfilhos m}^{-2})}{10.000}$$

O IAF das cultivares do sistema irrigado geralmente é mais alto que o das cultivares do sistema de terras altas. Na medição do IAF geralmente considera-se apenas a lâmina foliar, pois a fotossíntese das demais partes é desprezível. O IAF máximo ocorre próximo da floração (YOSHIDA, 1981). Ele é influenciado pelo espaçamento, pela densidade de semeadura e pela adubação (FAGERIA, 1980; FAGERIA et al., 1982a). O aumento do IAF é dado pelo aumento do número de perfilhos e de folhas por perfilhos e pelo tamanho das folhas.

A contagem das folhas do colmo principal é a melhor maneira de se determinar a idade fisiológica da planta de arroz. Na germinação, o coleóptilo emerge e cresce aproximadamente 1 cm, depois começa a emergência da primeira folha, esta atinge aproximadamente 2 cm de comprimento. A emergência da segunda folha começa antes da primeira completar o crescimento. A partir da terceira, todas as folhas emergem depois que a anterior completar seu crescimento (Figura 10).

A primeira folha, por não possuir lâmina, é desconsiderada na contagem. A anotação das folhas se faz com n/0, em que "n" significa o número de folhas no colmo principal. Portanto, 3/0 refere-se à terceira folha no colmo principal. Assim registra-se o número de folhas, relacionando-o com a idade da planta.

Quando a primeira folha está completamente desenvolvida, a idade da planta é considerada 1/0. Da mesma forma, quando a

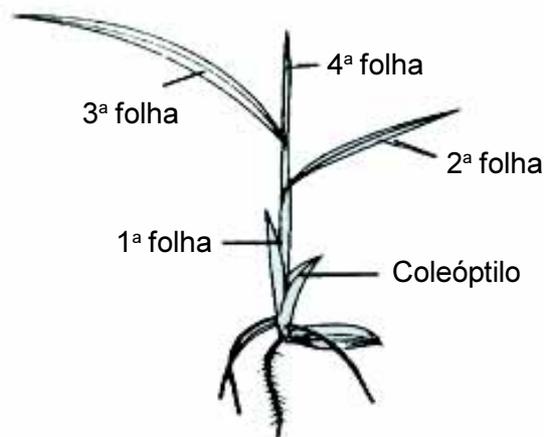


Figura 10. Contagem das folhas da planta de arroz (YOSHIDA, 1981).

segunda folha alcança seu crescimento máximo, a idade da planta é 2/0, e assim por diante. Uma folha é considerada completamente desenvolvida quando parte da folha sucessiva está emergindo (YOSHIDA, 1981).

PANÍCULA

A inflorescência (conjunto de flores) do arroz é chamada de panícula. Localiza-se sobre o último entrenó do caule. É composta pelo ráquis, que possui nós, em número de 8 a 10, dos quais saem as ramificações primárias que, por sua vez, dão origem às ramificações secundárias. Os pedicelos desenvolvem-se dos nós das ramificações primárias e secundárias e em suas extremidade desenvolvem as espiguetas (Figura 11). Uma única ramificação primária geralmente se desenvolve a partir de cada nó do ráquis, mas em condições especiais, como alta disponibilidade de luz e fertilidade do solo, duas ou três ramificações primárias podem ocorrer a partir de um único nó. Estas são chamadas de panículas fêmeas.

Alta disponibilidade de nitrogênio na diferenciação floral pode induzir alta incidência de panículas fêmeas (YOSHIDA, 1981).

Dependendo das cultivares, as panículas podem ser abertas, compactas ou intermediárias, e, segundo o ângulo de inserção nas ramificações primárias, classificam-se em eretas, pendentes ou intermediárias (PEDROSO, 1982).

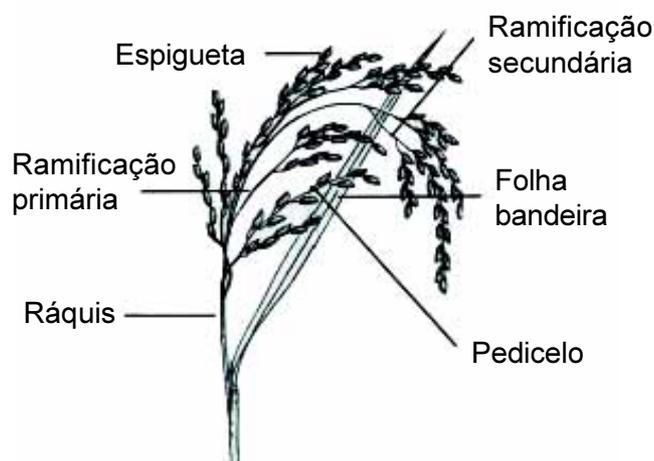


Figura 11. Panícula do arroz e seus componentes (VERGARA, 1979).

ESPIQUETA

As espiguetas são formadas por dois pares de brácteas ou glumas, que envolvem a flor do arroz. Após a formação do grão, essa estrutura vai constituir a casca. O par inferior é rudimentar, sendo suas glumas denominadas lemas estéreis. As glumas do par superior denominam-se lema e pálea, ambas podem ter uma extensão filiforme denominada arista (Figura 12). As espiguetas ligam-se às ramificações da panícula por meio de pedicelos curtos.

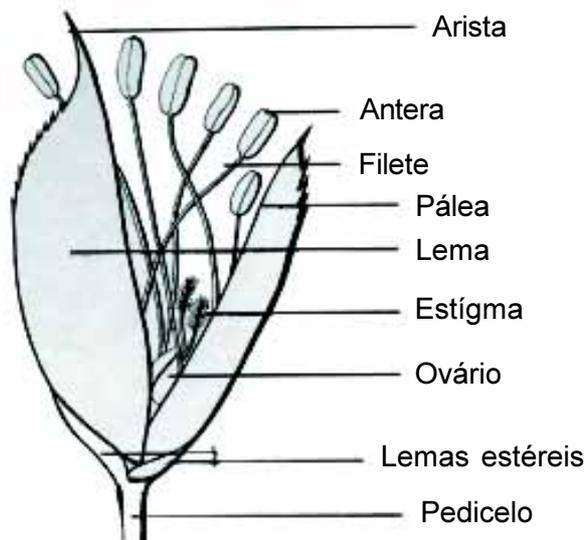


Figura 12. Partes da espiguetta do arroz (VERGARA, 1979).

FLOR

A flor do arroz é constituída de pistilo, estames e lodígulas. O pistilo, ou seja, a parte feminina, é composto de estigma, estilete e ovário. O estigma é plumoso, onde os grãos de pólen são depositados. O ovário é bastante desenvolvido e apresenta dois estiletes.

São observados seis estames, ou seja, a parte masculina, bem desenvolvidos, compostos de antera e filete. A antera contém os grãos de pólen. O filete é a estrutura que liga a antera à base da flor (Figura 12). As lodígulas são estruturas ovais e pouco desenvolvidas, que se situam na base do ovário.

Quando a flor está apta a ser fecundada, as lodígulas incham e induzem a abertura da lema e da pálea. No intervalo que precede a abertura da espiguetta, os filetes alongam-se rapidamente, pressionando as anteras contra a porção superior da espiguetta, induzindo a deiscência dos grãos de pólen. Estes caem sobre o estigma, penetram no estilete, atingem o ovário e realizam a fecundação. A deiscência da antera ocorre em sincronia com a abertura da espiguetta, mas pode também precedê-la ou segui-la. O pólen pode perder sua viabilidade cinco minutos após a deiscência, bem como permanecer viável por até 50 horas.

GRÃO

O grão de arroz é formado basicamente de endosperma e embrião, ou germe. Este localiza-se na face ventral do grão e contém

as estruturas essenciais para produção de uma nova planta. O tegumento que envolve a semente encontra-se diretamente ligado ao pericarpo, membrana que envolve o fruto. No caso do arroz, toda essa estrutura encontra-se envolvida pela lema e pela pálea, que constituem a casca (Figura 13). A lema é maior que a pálea. As laterais da lema revestem as laterais da pálea, de tal forma que o conjunto se fecha firmemente. A casca é porosa, leve e rica em sílica, 15-18% (VIEIRA & CARVALHO, 1999).

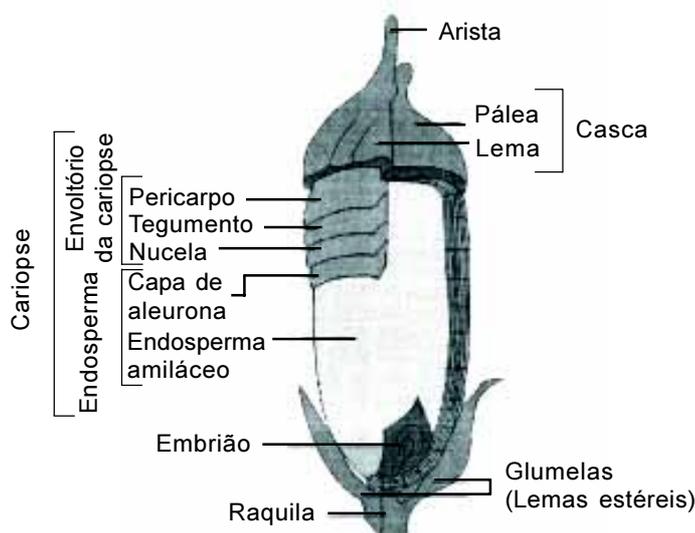


Figura 13. Estrutura dos grãos de arroz (JULIANO, 1984).

A principal função da casca é proteger o fruto contra o ataque de insetos ou fungos. A camada de aleurona constitui a capa mais externa do endosperma, envolvendo também a parte externa do embrião, sendo formada por várias camadas de células parenquimatosas. As células de aleurona são ricas em proteínas e lipídios (TANAKA et al., 1973).

GERMINAÇÃO

A germinação da semente é o desenvolvimento do embrião em radícula e coleóptilo. O processo de germinação pode ser dividido em embebição, ativação e estádios de crescimento pós-germinação. Quando saturada com água, graças às forças de embebição, a umidade da semente atinge 25-35%. A absorção de água não é influenciada pela temperatura e muito menos pelos inibidores da respiração (YOSHIDA, 1981). A absorção durante o estágio de ativação é mínima comparativamente ao estágio de embebição. Sua duração é inversamente relacionada com a temperatura. Ao final deste estágio, a ponta do coleóptilo emerge a partir da ruptura da casca. Este estágio é chamado de germinação. Subseqüentemente, o coleóptilo cresce e a primeira folha emerge. Os vários estádios da germinação da semente de arroz são mostrados na Figura 14.

A semente de arroz é capaz de germinar em condições anaeróbicas, se a germinação é definida como o aparecimento do coleóptilo e da radícula da semente. Sob tais condições, o crescimento subseqüente do coleóptilo, das folhas e das raízes é anormal.

A intensidade de luz também afeta a germinação. Na Figura 15 são apresentados os vários órgãos de uma plântula de arroz germinada sob condições de baixa e alta disponibilidade de luz, como verificado nas sementeiras superficial e profunda do solo.

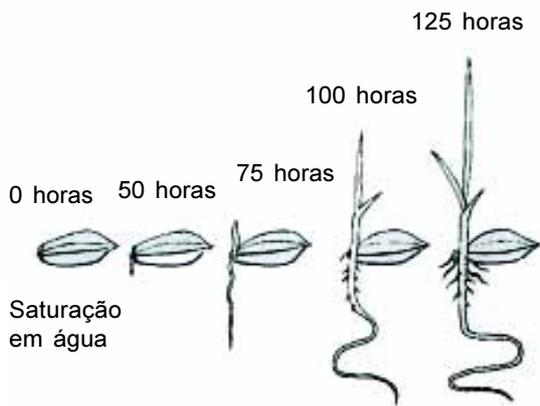


Figura 14. Estádios de germinação da semente de arroz (VERGARA, 1979).

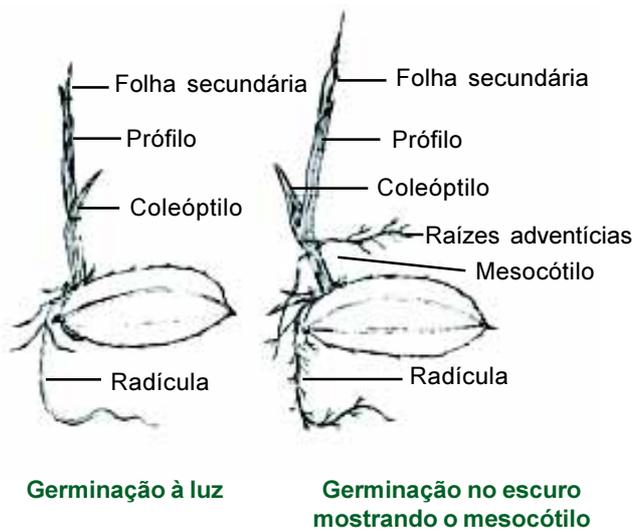


Figura 15. Germinação de semente de arroz (CHANG & BARDENAS, 1965).

As sementes de arroz apresentam um período de dormência após a maturação, cuja duração depende da cultivar e da umidade na colheita. Em geral, as cultivares de arroz irrigado apresentam maior dormência que as de terras altas. A dormência pode ser causada por vários fatores, por exemplo, embrião imaturo, impermeabilidade da casca da semente à água e ao ar, restrição mecânica do embrião e presença de substâncias inibidoras da germinação (MAYER & MAYBER, 1975).

Em condições normais do solo, as sementes de arroz germinam entre 5 e 7 dias; em condições controladas, em 4 ou 5 dias. O índice ideal de germinação das sementes é de 80% ou mais. Se o índice de germinação for de 60% a 80%, deve-se usar maior quantidade de semente para compensar a baixa germinação. Se o índice de germinação for inferior a 60%, a semente não é considerada apropriada para o plantio (FAGERIA, 1989).

PLÂNTULA

O estágio de desenvolvimento da plântula vai da germinação até a iniciação do primeiro perfilho. O crescimento inicial da plântula depende principalmente da reserva da semente, ou seja, dos nutrientes acumulados no endosperma. A plântula alimenta-se do endosperma até a emergência da terceira folha. Isto não signifi-

ca, porém, que a fotossíntese não contribui no desenvolvimento neste estágio.

Temperatura, luz e oxigênio são fatores que influenciam o crescimento da plântula. Na primeira semana após a germinação, a plântula é muito sensível à temperatura. Entre 22 e 31°C, o crescimento aumenta linearmente com o aumento da temperatura, indicando que as reações químicas dominam o crescimento (YOSHIDA, 1981). Durante esta semana, a reserva da semente sustenta mais de 70% do crescimento. A taxa de crescimento é menos sensível à temperatura na segunda semana após a germinação.

A luz influencia o processo de fotossíntese e, conseqüentemente, o crescimento da plântula. Na primeira semana após a germinação, com temperatura de 22 a 31°C, a fotossíntese é responsável por menos de 30% do crescimento; na segunda, por mais de 84%, e na terceira suporta a totalidade do crescimento (YOSHIDA, 1981).

FASES DE CRESCIMENTO DA PLANTA DE ARROZ

A planta de arroz completa seu ciclo geralmente entre três e seis meses, da germinação ao amadurecimento, dependendo da cultivar e das condições ambientais (VERGARA, 1980; YOSHIDA, 1981). O crescimento da planta de arroz pode ser dividido em três fases principais:

- Vegetativa
- Reprodutiva
- Maturação

A fase vegetativa estende-se da germinação à iniciação do primórdio floral. A fase vegetativa de uma cultivar de 130 a 135 dias de ciclo, em clima tropical, dura, normalmente, 65 a 70 dias e é a fase mais variável. É subdividida em duas fases, fase vegetativa básica, não influenciada pelo fotoperíodo, e fase sensível ao fotoperíodo. É caracterizada pelo perfilhamento ativo, aumento lento da altura e emergência de folhas. O perfilhamento começa no estágio de 4 ou 5 folhas, dependendo da cultivar e das condições ambientais. O perfilhamento máximo coincide com o início da diferenciação das panículas em cultivares de ciclo curto, enquanto em cultivares de ciclo longo prolonga-se pela fase reprodutiva. A iniciação do perfilhamento é independente do ambiente, mas o seu desenvolvimento é muito influenciado por fatores como disponibilidade de nutrientes no solo, radiação solar e temperatura.

A fase reprodutiva estende-se da iniciação do primórdio floral ao florescimento. Tem duração relativamente constante, requerendo normalmente 35 dias em condições tropicais (VERGARA, 1970).

A panícula jovem torna-se visível a olho nu como uma estrutura cônica, plumosa, medindo de 0,5 a 1,5 mm, cerca de 10 dias após sua diferenciação (FERNANDEZ et al., 1985). Morfológicamente, a fase reprodutiva caracteriza-se pela evolução dos entrenós e ocorre apenas nos quatro últimos entrenós. O alongamento do último entrenó determina a emergência da panícula (FERNANDEZ et al., 1985). A emergência da panícula dá início ao período de florescimento, em que ocorrem os processos de abertura das flores, polinização e fertilização. Durante a fase reprodutiva, determinam-se o número de espiguetas e o tamanho potencial do dreno da cultura de arroz. A planta de arroz, nesta fase, é muito sensível a estresses ambientais, como baixas temperaturas, radiação solar e deficiência de água e nitrogênio (CHANDRARATNA, 1964;

YOSHIDA, 1978; FAGERIA, 1980). O florescimento tem seu pico do 2º ao 4º dia após a emergência da panícula.

A fase de maturação estende-se do florescimento à maturação completa. Esta fase é dividida em três subestádios: grão leitoso, pastoso e maturo (VERGARA, 1970). Em clima tropical, a fase maturação dura de 30 a 35 dias após a emergência das panículas; em regiões temperadas, de 30 a 60 dias (VERGARA, 1980). Baixa temperatura prolonga a fase de maturação.

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

A produção de grãos está relacionada com a produção de matéria seca e pode ser calculada pela seguinte equação (DONALD & HAMBLIN, 1976):

$$\text{Produção econômica} = \text{Produção biológica} \times \text{índice de colheita}$$

A produção econômica refere-se à parte com valor econômico da produção biológica. O índice de colheita é a relação entre a produção de grãos e a produção biológica. Esta equação mostra que a produção econômica pode ser aumentada com o aumento da produção biológica ou do índice de colheita.

Os principais fatores que influenciam estes componentes da equação são cultivar, densidade de semeadura e adubação, quando outros fatores de produção não são limitantes, como disponibilidade de água no solo, ausência de doenças, etc. (YOSHIDA, 1972).

PRODUÇÃO

A produção é a parte da planta a que se atribui valor econômico, como os grãos, no caso do arroz. Esta é determinada pela seguinte fórmula:

$$\text{Produção (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{n}^\circ \text{ de panículas m}^{-2} \times \text{n}^\circ \text{ de grãos panícula}^{-1} \times \% \text{ de espiguetas cheias} \times \text{massa de 100 grãos (g)} \times 10^{-3}$$

ou

$$\text{Produção (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{n}^\circ \text{ de grãos m}^{-2} \times \% \text{ de espiguetas cheias} \times \text{massa de 100 grãos (g)} \times 10^{-3}$$

Observa-se, pelas equações acima, que a produção de grãos é uma combinação de vários componentes. Assim, pode-se conseguir uma produção de 5.000 kg ha⁻¹ com a combinação dos componentes na seguinte proporção:

- 300 panículas m⁻²
- 80 grãos/panículas
- 86% de espiguetas cheias
- 2,42 g por 100 grãos.

Observa-se, também, que a produção de arroz pode ser aumentada com o número de panículas por unidade de área, pelo número de grãos por panícula, pela redução da esterilidade das espiguetas e pelo aumento da massa dos grãos.

Estes componentes, entretanto, não podem ser aumentados indefinidamente porque, após certo nível, observa-se correlação negativa entre alguns deles. Por exemplo, se o número de panículas

for aumentado acima do nível apropriado, o seu tamanho e a massa dos grãos diminuem, e a esterilidade aumenta. Portanto, o aumento de produtividade é dado por meio de um equilíbrio entre estes componentes (YOSHIDA, 1972).

CARACTERÍSTICAS DA PLANTA RELACIONADAS COM A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

Existem várias características morfológicas associadas à produção de arroz. As mais importantes destas características são discutidas abaixo:

NÚMERO DE PANÍCULAS

O número de panículas é determinado de 8 a 12 dias após o estágio de perfilhamento máximo. Os principais fatores que influenciam o número de panículas por unidade de área são a densidade de plantio, a adubação e a cultivar (YOSHIDA, 1981; FAGERIA et al., 1982b).

NÚMERO DE GRÃOS POR PANÍCULAS

A diferenciação dos grãos começa aproximadamente 15 a 23 dias antes da floração. Durante este período é determinado o número máximo de grãos (YOSHIDA, 1972). O número de grãos por panícula ou por unidade de área é influenciado pela densidade de plantio, adubação, radiação solar, disponibilidade de água, temperatura e cultivar.

PORCENTAGEM DE ESTERILIDADE DE ESPIGUETAS

A porcentagem de esterilidade de espiguetas é a relação entre o número de espiguetas vazias e o total de espiguetas. A porcentagem de esterilidade de espiguetas é afetada tanto na fase reprodutiva como na maturação. Os principais fatores que a influenciam são as condições climáticas, os níveis de nutrientes e a incidência de doenças e pragas. Entre as condições climáticas, as baixas temperaturas e a radiação solar, a alta velocidade dos ventos e a deficiência hídrica em torno do período de floração aumentam significativamente a esterilidade. Outros fatores como o excesso de nitrogênio, a salinidade do solo e a incidência de brusone também induzem à esterilidade das espiguetas (YOSHIDA & PARAO, 1976).

Em arroz de terras altas, na região Centro-Oeste do Brasil, a deficiência hídrica e a incidência de brusone na panícula são os fatores mais importantes no aumento da esterilidade de espiguetas.

MASSA DOS GRÃOS

A massa dos grãos depende, primeiramente, do tamanho da casca, que é determinada, aproximadamente, uma semana antes da floração (YOSHIDA, 1972). Em segundo lugar, depende da formação destes grãos durante a fase de maturação. Deficiência hídrica e de nitrogênio, baixa radiação solar e incidência de brusone, no período da floração, reduzem a massa de grãos.

As cultivares de arroz de terras altas geralmente possuem maior massa unitária de grãos do que as de arroz irrigado.

ALTURA DA PLANTA

As cultivares de porte alto e colmo fraco acamam mais facilmente, principalmente quando recebem doses altas de nitrogênio. O acamamento diminui a seção transversal dos feixes vasculares,

portanto, reduz o movimento dos fotoassimilados e dos nutrientes absorvidos pelas raízes e, em consequência, a produção de arroz diminui. Além disto, aumenta o auto-sombreamento, contribuindo para maior esterilidade de grãos.

Com relação ao equilíbrio fotossíntese-respiração, colmos mais curtos facilitam a respiração e aumentam o aproveitamento dos produtos fotossintéticos. Mas o porte extremamente baixo é desvantajoso porque induz ao aumento do auto-sombreamento. Portanto, a planta deve ter um porte intermediário para resistir ao acamamento e apresentar menor auto-sombreamento (FAGERIA, 1989).

CARACTERÍSTICAS DA FOLHA

Entre as várias características da folha, o ângulo de inserção parece ser um dos mais importantes. A taxa fotossintética das folhas horizontais, além de ser menor que a das folhas eretas, é indiferente ao aumento do IAF (KEULEN, 1976).

No arroz, o comprimento da folha é mais variável que a largura, e está associado com o ângulo da folha. Quanto mais compridas forem as folhas, mais decumbentes elas são. Como resultado, folhas curtas e estreitas estão associadas a folhas eretas. Teoricamente, folhas estreitas e curtas podem ser mais regularmente distribuídas do que folhas largas e compridas. A melhor distribuição das folhas aumenta a interceptação da radiação solar.

A espessura das folhas é mencionada como uma característica morfológica importante, entretanto, os resultados experimentais são controversos. Plantas de arroz com folhas finas e com alto IAF geralmente são mais produtivas (YOSHIDA, 1972).

PERFILHAMENTO

Capacidade média de perfilhamento é, geralmente, desejável para uma cultivar com alta capacidade produtiva (BEACHELL & JENNINGS, 1965); entretanto, para as condições de distribuição hídrica irregular, a estabilidade produtiva das cultivares demanda perfilhamento baixo a moderado, raízes profundas e finas, entre outras características, que lhe conferem adaptação à seca. Por outro lado, para as condições favoráveis, acredita-se que genótipos perfilhadores têm vantagem por adaptarem-se a vários espaçamentos e densidades de plantio, e ainda, compensarem a semeadura irregular (YOSHIDA, 1981).

PANÍCULA

Conseguir uma baixa esterilidade de espiguetas sob altos níveis de nitrogênio é considerado um dos critérios de seleção mais importantes de resposta ao N pelas cultivares de arroz. Ao lado da esterilidade de espiguetas, a relação entre a massa dos grãos e a massa da matéria seca total (índice de colheita) é também um critério importante para selecionar cultivares produtivas.

O índice de colheita do arroz varia com o nível de aplicações de N, espaçamento, condições ambientais e ocorrência de brusone (YOSHIDA, 1972). Na Tabela 1 estão resumidas algumas características contrastantes das plantas de arroz.

INFLUÊNCIA DO CLIMA NA PRODUÇÃO DE ARROZ

A cultura do arroz é muito sensível às condições climáticas. Quando estas são satisfatórias, a cultura é produtiva, caso contrário podem ocorrer frustrações de safras, que serão proporcionais à duração e à intensidade das condições meteorológicas adversas.

Dentre os problemas de origem climática da cultura do arroz no Brasil, destacam-se a ocorrência de baixas temperaturas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado nos Estados do Sul, em particular no Rio Grande do Sul, e a ocorrência de estiagens (veranicos) na região dos Cerrados, causando deficiência hídrica no arroz de terras altas (STEINMETZ & MEIRELES, 1999).

Por outro lado, deve-se considerar que a cultura apresenta ampla adaptação ecológica, pois além de ser cultivada nas diferentes partes do mundo é conduzida nos mais diferentes sistemas de produção. É cultivada sob condições de terras altas, várzeas úmidas, irrigação controlada e inundação de até seis metros de água.

Os principais fatores climáticos que influenciam a produção de arroz são a temperatura, a radiação solar, o fotoperíodo e a precipitação pluvial.

TEMPERATURA

A temperatura é um dos elementos climáticos mais importantes para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz. Há temperaturas críticas, tanto baixas quanto altas, para cada um dos diferentes estádios de crescimento do arroz (Tabela 2). As faixas de temperatura ótima variam de 20 a 35 °C para a germinação, de 30 a 33 °C para a floração e de 20 a 25 °C para a maturação (Tabela 2). Estas temperaturas críticas variam de acordo com a cultivar, com a duração da temperatura e com o desenvolvimento da planta (FAGERIA, 1989).

As injúrias comuns devido à baixa temperatura são a redução da germinação e do crescimento da plântula, descoloração das folhas, degeneração de parte da panícula, emergência incompleta da panícula, retardamento da floração, aumento da esterilidade de espiguetas e maturação irregular. A planta é mais sensível às baixas temperaturas na pré-floração ou, mais especificamente, na microsporogênese (SATAKE, 1976). Para fins práticos, YOSHIDA (1981) sugere que o período de 14 a 7 dias antes da emissão das panículas, período esse conhecido como emborrachamento, seja considerado como o mais sensível às baixas temperaturas. O segundo estágio mais sensível é a floração.

Os genótipos respondem de forma diferente às baixas temperaturas. Os do grupo Japonica são mais tolerantes do que os do grupo Indica. Entretanto, trabalhos recentes têm demonstrado que algumas cultivares do grupo Indica são tão ou mais tolerantes às baixas temperaturas, durante o emborrachamento, que as cultivares mais tolerantes do grupo Japonica (YOSHIDA, 1981).

Temperaturas diurnas superiores a 35 °C também podem causar esterilidade das espiguetas. O estágio mais sensível do arroz a altas temperaturas é a floração. O segundo mais sensível é a pré-floração ou, mais especificamente, cerca de nove dias antes da emissão das panículas. Há também grandes diferenças entre genótipos quanto à tolerância a temperaturas altas (YOSHIDA, 1981). Para cultivares insensíveis ao fotoperíodo, sob condições de suprimento adequado de água, a duração do período da emergência à floração é determinada, fundamentalmente, pela temperatura do ar.

Um dos conceitos mais importantes para caracterizar o desenvolvimento da cultura do arroz é a “soma térmica” ou “graus-dia”. Esse conceito expressa a disponibilidade energética do meio e pode ser caracterizado como o acúmulo diário de temperatura que se situa acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta (OMETTO, 1981). O método utilizado para caracterizar as exigências térmicas da cultura pode ser expresso da seguinte forma:

Tabela 1. Vantagens e desvantagens das características contrastantes das plantas de arroz.

Planta	Características	Vantagens e desvantagens
Altura da planta	Porte baixo	Aumento de resistência ao acamamento
	Porte alto	Aumento na suscetibilidade ao acamamento e maior competitividade com as plantas daninhas
	Folhas espessas	Alta taxa fotossintética por unidade de área foliar
	Folhas finas	Associada ao maior IAF
	Folhas eretas	Maior eficiência no aproveitamento da energia solar, quando o IAF é alto
	Folhas decumbentes	Maior competitividade com as plantas daninhas; pode induzir maior incidência de doenças e pragas
Perfilhamento	Alto	Maior capacidade de se adequar a uma larga faixa de espaçamentos, de compensar a emergência ineficiente das plântulas ou a perdas de perfilhos, além de permitir rápido aumento do IAF durante o desenvolvimento inicial da planta
	Baixo	Maior uniformidade na maturação dos grãos
Raiz	Superficial e relação raiz/parte aérea baixa	Menor demanda de fotoassimilados
	Profunda e relação raiz/parte aérea alta	Maior resistência à seca
Ciclo	Precoce	Maior acúmulo de matéria seca por dia; maior eficiência no uso de água; liberação precoce da área para os plantios da época da safrinha, etc.
	Tardio	Mais adaptada à baixa fertilidade do solo
Sensibilidade ao fotoperíodo	Sensível	Mais adaptada a regiões com períodos longos de chuva
	Insensível	Pode ser plantada em qualquer época do ano e usada em sistemas de cultivos múltiplos, desde que não haja outros fatores climáticos que limitem o desenvolvimento da planta
Crescimento inicial	Rápido	Maior competitividade com as plantas daninhas
Panícula	Baixa esterilidade de espiguetas em alto nível de N	Permite o uso de altas doses de nitrogênio
	Alto índice de colheita	Alta produtividade e baixa produção biológica
	Grãos pequenos	Rápido enchimento das espiguetas e melhor adaptação a regiões com ocorrência de seca na fase final de maturação
	Grãos compridos	Alta produção de grãos

Fonte: YOSHIDA (1978).

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_m - T_b)$$

onde:

GD = graus-dia acumulados no período;

T_m = temperatura média diária (°C);

T_b = temperatura base; e

n = número de dias do período considerado.

As exigências térmicas das cultivares de arroz de terras altas e irrigado variam de acordo com a data de semeadura, com o período considerado e com o ciclo das cultivares. A soma térmica necessária para completar o ciclo (emergência-maturação) das cultivares de arroz de terras altas varia entre 1.029,7 GD para a cultivar IAC 165 e 2.021,0 GD para a cultivar IAC 47. No Rio Grande do Sul, a soma térmica, da emergência até a diferenciação do primórdio floral, tem sido utilizada para determinar a época de aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (INFELD et al., 1995). Esses autores demonstraram que a soma térmica do período referido é de 536, 638 e 772 GD, respectivamente, para as cultivares de ciclo curto, médio e longo.

Tabela 2. Temperatura mínima, máxima e ótima para o crescimento e o desenvolvimento do arroz (YOSHIDA, 1981).

Estádios de desenvolvimento	Temperatura crítica (°C) ¹		
	Baixa	Alta	Ótima
Germinação	10	45	20-35
Emergência	12-13	35	25-30
Estabelecimento da plântula	12-13	35	25-30
Desenvolvimento da raiz	16	35	25-28
Alongamento da folha	7-12	45	31
Perfilhamento	9-16	33	25-31
Iniciação do primórdio floral	15	35	25-30
Emergência da panícula	15-20	38	25-28
Antese	22	35	30-33
Maturação	12-18	30	20-25

¹ Refere-se à temperatura média diária, com exceção da germinação.

EXIGÊNCIAS DE RADIAÇÃO SOLAR PELA CULTURA DO ARROZ

A necessidade de radiação solar difere de um estágio de crescimento do arroz para outro. No estágio inicial de crescimento a planta de arroz necessita de pouca radiação solar. Com a idade, a necessidade de radiação solar aumenta progressivamente. A produtividade é fortemente influenciada quando o sombreamento ocorre durante as fases reprodutivas e de maturação (Figura 16), pela redução, respectivamente, do número e do enchimento das espiguetas (YOSHIDA & PARAO, 1976).

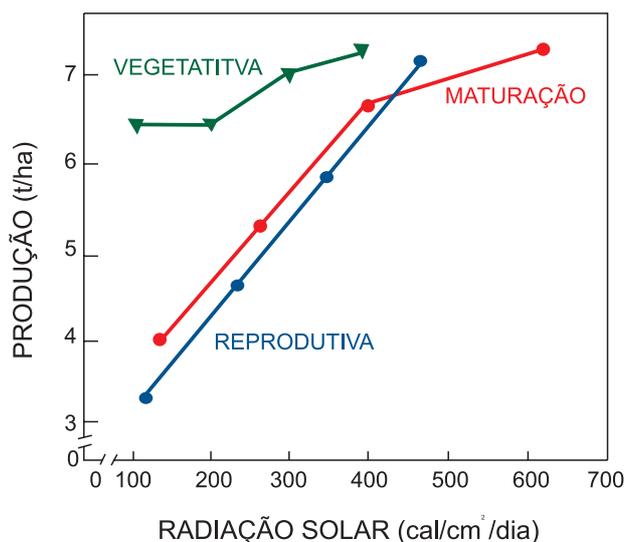


Figura 16. Efeito da radiação solar nas diferentes fases de crescimento do arroz, cv. IR 747B2-6, sobre sua produtividade (YOSHIDA & PARAO, 1976).

A importância relativa da radiação solar nas distintas fases fenológicas, em termos de produção de grãos, é apresentada na Figura 16. Os maiores incrementos na produtividade, para níveis crescentes de radiação solar, são obtidos durante as fases reprodutiva e de maturação. A fase vegetativa apresenta uma baixa resposta à radiação solar. Observa-se na Figura 16 que produtividades em torno de 5.000 kg ha⁻¹ podem ser alcançadas com níveis de radiação solar de aproximadamente 300 cal cm⁻² dia⁻¹ durante a fase reprodutiva.

Durante a fase de maturação, produtividades ligeiramente superiores poderiam ser alcançadas com níveis semelhantes de radiação solar. Com base nesses resultados, YOSHIDA (1981) sugere que a radiação solar exerce um papel mais destacado, quando se buscam produtividades superiores a 5.000 kg ha⁻¹. Isto indica que a pesquisa deve procurar alternativas que aumentem a eficiência no aproveitamento da radiação solar pela planta de arroz, caso se almeje alcançar produtividades superiores a 5.000 kg ha⁻¹, que é a média atual no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (STEINMETZ & MEIRELES, 1999).

O melhor aproveitamento da radiação solar depende da densidade de fluxo de radiação solar que penetra no interior do dossel da planta. A densidade de fluxo de radiação solar diminui gradualmente à medida que a radiação penetra no dossel das plantas com folhas eretas e mais rapidamente naquelas com folhas decumbentes.

Verifica-se, na Figura 17, que a fotossíntese na população com folhas eretas aumenta com a densidade de fluxo de radiação, sem que se atinja o ponto de saturação, enquanto na população com folhas decumbentes o aumento de fotossíntese ocorre apenas até o nível de 0,6 cal cm⁻² min⁻¹, havendo saturação de luz acima desse valor. Nesse experimento, a produção de grãos na população de plantas com folhas decumbentes foi 33% menor do que na de folhas eretas (TANAKA, 1976).

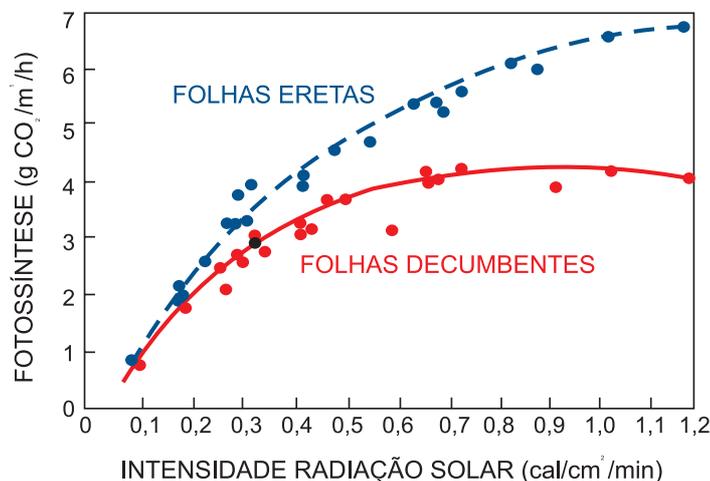


Figura 17. Efeito da intensidade da radiação solar sobre a taxa fotossintética de arroz de folhas eretas e decumbentes (TANAKA, 1976).

FOTOPERÍODO

O número de horas-luz do dia, entre o nascer e o pôr-do-sol, é conhecido como fotoperíodo. A resposta da planta ao fotoperíodo é denominada fotoperiodismo. O fotoperíodo influencia o desenvolvimento da planta de arroz. Ela é uma planta de dias curtos. Sua diferenciação floral inicia-se em resposta aos dias curtos. Sua diferenciação floral pode ser retardada ou nem iniciar quando a planta é submetida a longos fotoperíodos.

Segundo YOSHIDA (1981), a fase de desenvolvimento vegetativo do arroz pode ser dividida em fase vegetativa básica (FVB) e fase sensível ao fotoperíodo (FSF). A FSF de cultivares insensíveis ao fotoperíodo é menor do que 30 dias; a das cultivares sensíveis ao fotoperíodo é maior do que 31 dias. Segundo o mesmo autor, o fotoperíodo ótimo é considerado o comprimento do dia no qual a duração da emergência até a floração é mínima. O fotoperíodo ótimo para a maioria das cultivares de arroz situa-se entre 9 e 10 horas, já o fotoperíodo crítico é o maior fotoperíodo no qual a planta irá florescer ou o fotoperíodo além do qual a planta não irá florescer.

A planta de arroz, segundo sua reação ao fotoperíodo, pode ser classificada de acordo com YOSHIDA (1981) em:

- 1) **Insensível:** quando a FSF é curta (inferior a 30 dias) e a FVB varia de curta a longa;
- 2) **Pouco sensível:** aumento acentuado no ciclo da planta quando o fotoperíodo é maior do que 12 horas; a duração da FSF pode exceder 30 dias mas a floração irá ocorrer em qualquer fotoperíodo longo; e
- 3) **Muito sensível:** grande aumento no ciclo com o incremento no fotoperíodo; não há florescimento além do fotoperíodo crítico; a FVB é, normalmente, pequena (não mais do que 40 dias).

O mesmo autor ainda relata que as cultivares insensíveis ao fotoperíodo podem florescer e amadurecer durante todo o ano, desde que não haja limitações quanto à temperatura e ao suprimento de água. De modo geral, pode-se dizer que, para as principais regiões produtoras do país, o fotoperíodo não chega a ser um fator limitante, observando-se as épocas recomendadas de semeadura. Isso porque, no processo de adaptação e/ou criação de novas cultivares, são selecionadas aquelas que apresentam comprimentos de ciclo compatíveis com as características fotoperiódicas da região. Entretanto, o fotoperíodo pode ser um fator limitante quando se pretende produzir arroz fora das épocas tradicionais de cultivo (STEINMETZ & MEIRELES, 1999).

PRECIPITAÇÃO

Entre os fatores biofísicos, a água é o que melhor determina a produção das culturas; entretanto, menos de 5% da água absorvida é usada no processo fotossintético e o restante perde-se através da transpiração.

Segundo a revisão preparada por PINHEIRO (1999), de modo geral, a deficiência hídrica não reduz severamente a produtividade quando ocorre na fase vegetativa do arroz, seu efeito é severo quando ocorre durante a fase reprodutiva, especialmente quando ocorre no período da divisão da célula-mãe do pólen (meiose) e o florescimento. O efeito da deficiência hídrica na produtividade dá-se pela interferência nos processos fotossintéticos, transporte de carboidratos, redução de IAF, inibição da emissão das panículas, esterilidade de espiguetas, etc.

RESUMO

A planta de arroz é adaptada aos solos alagados, mas se desenvolve bem nos solos não alagados. Apresenta aerênquimas, que conectam raízes, colmos e folhas, propiciando eficiente suprimento de oxigênio ao sistema radicular, mesmo em condições anaeróbicas. Seu sistema radicular é constituído de raízes seminais, de curta duração, que são substituídas pelas raízes adventícias. Em condições especiais podem ocorrer também raízes mesocótilas, como em condições de semeaduras profundas. De modo geral, as plantas de arroz do sistema de terras altas apresentam raízes longas e espessas, enquanto as do sistema irrigado apresentam raízes finas e fibrosas.

O caule da planta de arroz é composto por um colmo principal e um número variável de colmos primários e secundários, ou perfilhos. O colmo é constituído por nós e entrenós. É totalmente envolvido pela bainha das folhas antes da floração, porém pequena parte é exposta, abaixo da panícula, após a floração. Os perfilhos primários originam-se na base das folhas de cada nó não alongado, do colmo principal, durante o crescimento vegetativo. Estes, por sua vez, dão origem aos perfilhos secundários. Estes últimos, por fim, dão origem aos perfilhos terciários.

A primeira folha surgida do coleóptilo difere das demais por ser cilíndrica e não apresentar lâmina. Ela é denominada de prófio ou folha incompleta. A segunda folha, e todas as demais, são dispostas de forma alternada no colmo, surgindo a partir de gemas situadas nos nós. A porção da folha que envolve o colmo denomina-se bainha e a pendente é a lâmina.

A inflorescência (conjunto de flores) do arroz é chamada de panícula. Localiza-se sobre o último entrenó do caule. É composta pelo ráquis, que possui nós, dos quais saem as ramificações primá-

rias que, por sua vez, dão origem às ramificações secundárias. Os pedicelos desenvolvem-se dos nós das ramificações primárias e secundárias e em suas extremidades desenvolvem-se as espiguetas.

As espiguetas são formadas por dois pares de brácteas ou glumas, que envolvem a flor do arroz. Após a formação do grão, essa estrutura vai constituir a casca. O par inferior é rudimentar, sendo suas glumas denominadas lemas estéreis. As glumas do par superior denominam-se lema e pálea, ambas podem ter uma extensão filiforme denominada arista. Quando a flor está apta a ser fecundada, as lodículas incham e induzem a abertura da lema e da pálea. No intervalo que precede a abertura da espiguetas, os filetes alongam-se rapidamente, pressionando as anteras contra a porção superior da espiguetas, induzindo a deiscência dos grãos de pólen. Estes caem sobre o estigma, penetram no estilete, atingem o ovário e realizam a fecundação.

O grão de arroz é formado basicamente de endosperma e embrião. Este localiza-se na face ventral do grão, e contém as estruturas essenciais para produção de uma nova planta. O tegumento que envolve a semente encontra-se diretamente ligado ao pericarpo, membrana que envolve o fruto. A casca, formada pela lema e pálea, é porosa, leve e rica em sílica. A principal função da casca é proteger o fruto contra o ataque de insetos ou fungos.

As sementes de arroz apresentam um período de dormência após a maturação, cuja duração depende da cultivar e da umidade na colheita. Em geral, as cultivares de arroz irrigado apresentam maior dormência que as de terras altas.

O crescimento da planta de arroz pode ser dividido em três fases principais: vegetativa, reprodutiva e maturação.

A fase vegetativa estende-se da germinação à iniciação do primórdio floral. Em uma cultivar de 130 a 135 dias de ciclo, em clima tropical, ela dura, normalmente, 65 a 70 dias e é a fase mais variável, em função das condições climáticas e do ciclo da planta.

A fase reprodutiva estende-se da iniciação do primórdio floral ao florescimento. Tem duração relativamente constante, requerendo normalmente 35 dias em condições tropicais.

A fase de maturação também é pouco variável, estende-se do florescimento à maturação completa. Esta fase é dividida em três subestádios: grão leitoso, pastoso e maduro. Em clima tropical, a fase de maturação dura de 30 a 35 dias.

A cultura de arroz é muito sensível às condições climáticas. Dentre os problemas de origem climática, destacam-se a ocorrência de baixas temperaturas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado nos Estados do Sul e a ocorrência de estiagens (veranicos), na região dos Cerrados.

As injúrias comuns devido à baixa temperatura são a redução da germinação e do crescimento da plântula, descoloração das folhas, degeneração de parte da panícula, emergência incompleta da panícula, retardamento da floração, aumento da esterilidade das espiguetas e maturação irregular. A planta é mais sensível às baixas temperaturas na pré-floração ou, mais especificamente, na microsporangênese.

A deficiência hídrica é pouco importante durante a fase vegetativa do arroz, porém seu efeito é severo quando ocorre durante a fase reprodutiva, especialmente na divisão da célula-mãe do pólen (meiose) e no florescimento. O efeito da deficiência hídrica na produtividade dá-se pela interferência nos processos fotossintéticos, transporte de carboidratos, redução de IAF, inibição da emissão das panículas, esterilidade de espiguetas, etc.

LITERATURA CITADA

- BEACHELL, H.M.; JENNINGS, P.R. Need for modification of plant type. In: IRRI. **The mineral nutrition of the rice plant**. Baltimore: Johns Hopkins, 1965. p.29-35.
- CHANDRARATNA, M.F. **Genetics and breeding of rice**. London: Longmans, 1964. 389p.
- CHANG, T.T.; BARDENAS, E.A. **The morphology and varietal characteristics of the rice plant**. Los Baños: IRRI, 1965. 40p. (IRRI. Technical Bulletin, 4).
- DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. **Advances in Agronomy**, New York, v.25, p.361-405, 1976.
- FAGERIA, N.K. Influência da aplicação de fósforo no crescimento, produção e absorção de nutrientes do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.26-31, 1980.
- FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425p.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA, FILHO, M.P.; CARVALHO, J.R.P. Response of upland rice to phosphorus fertilization on the oxisol of Central Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.51-56, 1982a.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; GARBER, M.J. Nível ótimo de nutrientes e densidade de plantio de arroz para experimentos em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.9, p.1279-1284, 1982b.
- FERNANDEZ, F.; VERGARA, B.S.; YAPIT, N.; GARCIA, O. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. In: TASCÓN, J.E.; GARCIA, D.E. (eds.). **Arroz: investigación y producción**. Cali: CIAT, 1985. p.83-101.
- FUJII, M. **The morphology and physiology of rice roots**. Taipei: ASPAC, 1974. 17p. (ASPAC. Technical Bulletin, 20).
- GUIMARÃES, C.M.; CASTRO, da M. de; MORAIS, O.P.; STONE, L.F. Cultivares tradicionais e melhoradas de arroz de terras altas: características morfológicas do sistema radicular. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. (No prelo).
- HOSHIKAWA, K. **Growth of the rice plant**. Tokyo: Nosan Gyoson Bunka Kyokai, 1975. 317p.
- INFELD, J.A.; SILVA, J.B. da; ASSIS, F.N. de. Uso de graus-dia para determinar a época de aplicação de nitrogênio na cultura do arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBA, 1995. p.66-67.
- JULIANO, B.O. Rice starch: production, properties and uses. In: WHISTLER, R.L.; MILLER, J.N.; PASCHALL, E.F. (eds.). **Starch: chemistry and technology**. 2.ed. Orlando: Academic Press, 1984. p.507-527.
- KEULEN, H. Van. **A calculation method for potential rice production**. Bogar: Center of Research of the Institute of Agriculture, 1976. 26p. (Contribution, 21).
- MAYER, A.M.; MAYBER, A.P. **The germination of seeds**. 2.ed. New York: Pergamon, 1975. 192p.
- MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.9, p.747-766, 1972.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.
- PEDROSO, B.A. **Arroz irrigado: obtenção e manejo de cultivares**. Porto Alegre: Sagra, 1982. 175p.
- PINHEIRO, B. da S. Características morfológicas da planta relacionada à produtividade. In: VIEIRA, N.R. de A.; SANTOS, A.B. dos; SANT'ANA, E.P. (eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.116-147.
- SATAKE, T. Sterile-type cool injury in paddy rice plants. In: IRRI (ed.). **Climate & rice**. Los Baños, 1976. p.281-300.
- STEINMETZ, S.; MEIRELES, E. J. L. Clima. In: VIEIRA, N. R. de A.; SANTOS, A. B. dos; SANT'ANA, E.P. (eds.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.58-87.
- TANAKA, I. Climatic influence on photosynthesis and respiration of rice. In: IRRI. **Climate & rice**. Los Baños, 1976. p.223-247.
- TANAKA, K.; YOSHIDA, T.; ASADA, K.; KASAI, Z. Subcellular particles isolated from aleurone layer of rice seeds. **Archives on Biochemistry and Biophysics**, New York, v.155, p.136-143, 1973.
- VERGARA, B.S. **A farming's primer on growing**. Los Baños: IRRI, 1979. 221p.
- VERGARA, B.S. Plant growth and development. In: UNIVERSITY OF THE PHILIPPINES. **Rice production manual**. Laguna, 1970. p.17-37.
- VERGARA, B.S. Rice plant growth and development. In: LUH, B.S. (ed.). **Rice: production and utilization**. Davis: Avi, 1980. p.75-85.
- VERGARA, B.S.; LILIS, R.; TANAKA, A. Studies of the internode elongation of the rice plant. I. Relationship between growth duration and internode elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.11, p.246-250, 1965.
- VIEIRA, N.R. de A.; CARVALHO, J.L.V. de. Qualidade tecnológica. In: VIEIRA, N.R. de A.; SANTOS, A.B. dos; SANT'ANA, E.P. (ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. p.582-604.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.
- YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.23, p.37-64, 1972.
- YOSHIDA, S. **Tropical climate and its influence on rice**. Los Baños: IRRI, 1978. 25p. (IRRI. Research Paper Series, 20).
- YOSHIDA, S.; HASEGAWA, S. The rice root system: its development and function. In: IRRI. **Drought resistance in crops with emphasis on rice**. Los Baños, 1982. p.97-114.
- YOSHIDA, S.; PARAO, F.T. Climatic influence on yield and yield components of low-land rice in the tropics. In: IRRI (ed.). **Climate & rice**. Los Baños, 1976. p.471-494.