

MELHORAMENTO VEGETAL PARA RESISTÊNCIA À SECA NAS CONDIÇÕES DO CERRADO

*Ricardo José Guazzelli**;
*Beatriz da Silveira Pinheiro**;
*Morél Pereira Barbosa Filho**;
*Nand Kumar Fageria**;
*Sylvio Steinmetz**;
*Tomaz de Aquino Porte e Castro**;
*Luiz Fernando Stone**
*e Pedro Marques da Silveira**

INTRODUÇÃO

Uma importante limitação à agricultura na área de Cerrados está representada pela ocorrência de uma estação seca e de estiagens durante a estação das chuvas, que são conhecidas, regionalmente, como “veranicos”. Estiagens de 1, 2 e até 3 semanas durante a estação chuvosa são comuns em várias partes do mundo; porém, os seus danos à agricultura não ocorrem com tanta intensidade. Entretanto, na Região dos Cerrados em veranico de 10 dias, dependendo da cultura e da época de sua ocorrência, pode causar decréscimos consideráveis na produtividade das lavouras. Isso se deve, basicamente, às peculiaridades edafoclimáticas dessa região. Podem-se citar 4 aspectos que concorrem para incrementar o “stress” de água às plantas, causando pelo veranico:

- 1 – ausência de Chuvas ou o veranico propriamente dito.
- 2 – alta demanda evapotranspirativa – as condições ambientais durante o veranico caracterizam-se por alta radiação solar; baixa umidade relativa e altas temperaturas, que propiciam um aumento da evapotranspiração das culturas. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1978).
- 3) baixa capacidade de retenção de umidade pelo solo – cerca de 52% da área dos cerrados é formada por Latossolos, destacando-se o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e o Latossolo Vermelho-Escuro (LVE). Esses solos caracterizam-se por serem profundos, porosos, altamente intemperizados, de

* Pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa – Arroz, Feijão, da EMBRAPA.

baixa fertilidade natural e de acidez de moderada a forte. Estudos indicam que 2/3 ou mais da água disponível nestes solos é removida entre tensões de 1/10 a 1 bar, independentemente da textura do solo superficial. Isto significa que estes solos, embora possuindo até 83% de argila, comportam-se como arenosos (Lopes, 1977).

- 4) Toxicidade de Alumínio — Os solos dos cerrados apresentam uma baixa capacidade de troca de cátions, que é ocupada na maior parte por ions de hidrogênio e alumínio, resultando em elevada acidez e alta saturação desse elemento. O excesso de alumínio inibe a formação normal da raiz, interfere nas reações enzimáticas e na absorção de nutrientes (Foy, 1974). Devido ao desenvolvimento limitado das raízes, a capacidade das plantas de retirarem água e nutrientes das camadas mais profundas, durante o veranico, é reduzida.

Apesar de a água ser importante por todo o ciclo, a maioria das espécies passa por períodos críticos, durante os quais a sua falta reduz os rendimentos mais drasticamente do que em outros períodos (Chang, 1968). Os cereais, por exemplo, mostram uma sensibilidade marcante à seca quando da formação dos órgãos reprodutivos e da floração (Salter & Goode, 1967).

No feijoeiro, é essencial que não falte água durante a floração e período de maturação, para que não ocorra a queda de flores e vagens jovens (Allard e Smith 1954; Myers et alii 1957; Pumphrey 1957; e Morrison e Burke 1962 citados por Magalhães 1977).

As espécies vegetais diferem grandemente quanto à suscetibilidade à seca. O sorgo, por exemplo, é muito menos afetado pela deficiência hídrica, em qualquer fase de desenvolvimento, do que o milho. Robins & Domingo (1953) afirmam que, se o milho permanecer de 1 a 2 dias e de 6 a 8 dias em condições de murchamento durante o período da polinização, as reduções no rendimento serão de 22% e 50%, respectivamente.

O arroz é uma espécie muito exigente em água. Matsushima (1968), utilizando uma variedade índica, na Malásia, concluiu que apenas 3 dias de "stress" de água durante o período mais crítico (de 11 dias a 3 dias antes da floração) causaram alta percentagem de esterilidade, reduzindo drasticamente o rendimento. Na Região dos Cerrados, o arroz de sequeiro tem apresentado produtividade muito baixa (em torno de 1.000 a 1.200 kg/ha) e muito instável. A instabilidade do rendimento se deve basicamente à má distribuição das chuvas.

Existem várias alternativas, tanto do ponto de vista da cultura, como das práticas culturais, para minimizar os prejuízos causados à agricultura pelo veranico. Neste trabalho pretende-se discutir as perspectivas para obtenção de resistência ou tolerância à seca, através do melhoramento vegetal.

CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS RELACIONADAS COM RESISTÊNCIA À SECA

Estas características são de natureza fisiológica, anatômica e morfológica que funcionam integradas sempre quando ocorre uma deficiência hídrica. Elas concorrem para que as plantas resistam ao "stress" hídrico.

As plantas resistem à seca, prevenindo-se da mesma, por manter um alto potencial hídrico, mesmo estando submetidas a "stress" de água. A planta não entra em equilíbrio termodinâmico com o "stress", ela o exclui parcial ou totalmente (LEVITT, 1972).

Características Radiculares

A extensão e profundidade das raízes e a reserva de umidade que elas podem manter são importantes para a sobrevivência das plantas nos períodos secos. Muitas espécies de plantas acumulam grandes quantidades de água em suas raízes, não somente aquelas de semidesertos, mas também as mesófitas, de ambientes úmidos. (PARKER, 1968).

Espécies como *Vigna unguiculata* e *Phaseolus bracteatus* possuem sistema radicular bem adaptado para resistência à seca. A partir da intersecção com o caule, ela se dilata, tomando uma forma axialtuberosa (fibrosa). Por outro lado, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) possui um sistema radicular pouco adaptado para resistência à seca, isto porque, a partir da intersecção com o caule, a raiz principal diminui bruscamente de diâmetro e a água que ela consegue acumular é insuficiente para prolongar a sobrevivência da planta sob "stress". O sistema radicular impróprio e pouco extenso do feijão comum torna-se muito sensível à deficiência de água. Entretanto, não existem estudos concretos sobre estas características de raízes, não obstante sua grande importância.

A disponibilidade de água para uma planta é determinada pela profundidade que suas raízes podem alcançar e pelo volume de solo com o qual elas estão em contacto (KRAMER 1969), McWILLIAM e KRAMER (1968) concluíram que a profundidade alcançada pelas raízes no solo é de grande importância para a sobrevivência da planta, quando as camadas superficiais do solo estão secas.

A extensão, forma e volume dos sistemas radiculares das espécies vegetais são características geneticamente herdadas, não obstante sofrerem as limitações do meio. Quando as raízes encontram subsolo bem arado elas crescem normalmente, alcançando as camadas mais profundas do solo; entretanto, se o subsolo é muito compacto ou de aeração pobre, as raízes só crescem superficialmente, tornando as plantas muito sensíveis aos períodos secos. Este é um problema bastante comum nos Cerrados, além de outros de deficiência nutricional como o da alta saturação de Alumínio que limita o crescimento das raízes.

Os estômatos são de suma importância, pois através deles ocorre a quase totalidade das trocas gasosas. Em estudos envolvendo perda de água pela frente, mediante a transpiração, ou de resistência à seca, o conhecimento do seu mecanismo de ação e seu papel no controle da transpiração foliar deve ser bem entendido.

O mecanismo de ação dos estômatos vem sendo estudado há muito tempo sem, contudo, ter-se chegado a uma explicação satisfatória dos processos bioquímicos envolvidos (KETELLAPER, 1963; RASCHKE, 1965 citado por KRAMER, 1969; RASCHKE, 1975).

Sabe-se que o movimento dos estômatos é controlado pelo teor de água das folhas, pela concentração de CO_2 nos espaços intercelulares e intensidade de luz, sendo a velocidade de resposta dos estômatos influenciada pela temperatura ambiente (HEATH, 1959; KETELLAPER, 1963; ZELITCH, 1965; RASCHKE, 1975).

A água flui através da planta formando um *continuum* solo-planta-atmosfera. Quando a planta é submetida a uma deficiência hídrica, há uma tendência do rompimento desse *continuum*, conduzindo a planta a uma tensão hídrica com um conseqüente fechamento estomático. Este fechamento estomático é uma tentativa da planta de prevenir-se contra a seca e ocorre, no caso do feijão, quando a folha atinge um potencial hídrico de -8 bars para a face abaxial e -11 bars para a face adaxial (KANEMASU & TANNER, 1969).

O fechamento estomático pode dar-se abruptamente, quando a planta atinge nível crítico de potencial hídrico (SLATYER, 1967; HSIAO, 1973). Esse nível crítico, bem como a sensibilidade estomática, variam entre as espécies (BOYER, 1970; DUBÉ et al., 1974; FRANK et al., 1973; JORDAN et al., 1971; KRIEDEMANN et al., 1971; HENCKEL, 1964; HSIAO, 1973; EHRLER et al., 1968; PORTES, 1977).

Estas características das plantas utilizadas em estudo de resistência à seca, aqui descritas, são apenas algumas das mais pesquisadas. Outras de interesse mais restrito não foram mencionadas. Existe razoável quantidade de trabalhos a respeito deste assunto sendo a maioria de procedência estrangeira. Infelizmente, estamos muito deficientes em trabalhos desta natureza.

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO PARA RESISTÊNCIA À SECA

Um dos maiores empecilhos ao melhoramento para resistência à seca é o de depender de sua ocorrência na época crítica da cultura. Condições de casa de vegetação não duplicam as condições de solo e clima prevalentes nas condições de campo, o que torna seu uso limitado (INTERNATIONAL, 1974). Além desses entraves, é sabido ser extremamente difícil separar a resistência à seca do comportamento agrônomico e da produtividade (O'TOOLE & CHANG, 1978).

Até o momento, os resultados do melhoramento para resistência à seca têm sido frustrantes, e foram poucas as ocasiões em que se mostraram efetivos (BOYER & McPHERSON, 1976). Talvez isso se deva ao fato de que a resistência à seca é um complexo de características de ordem morfológica, fisiológica e bioquímica, e o melhorista, geralmente, não possui informação adequada acerca desses fatores, fazendo uma seleção de forma muito empírica.

Muitas técnicas foram desenvolvidas nos últimos tempos, facilitando as avaliações de resistência à seca. Infelizmente, não existe método ou combinação de métodos que tenha plena aceitação, existindo vantagens e desvantagens no seu uso (SULLIVAN, 1971).

De acordo com BOYER & McPHERSON (1976), o reconhecimento de que o *continuum* solo-planta-atmosfera deve ser considerado um sistema complexo tem enfatizado a vantagem de determinar o estado hídrico da planta, ao invés de somente o estado hídrico do solo. Portanto, a tendência mais moderna é medir as relações de água na planta, suplementando esses dados com outros relacionados com manutenção de fotossíntese, capacidade de desenvolvimento do sistema radicular, controle estomatal da resistência difusiva e resistência celular ao dessecamento, entre outros.

Felizmente, nos últimos anos, os equipamentos para medir ou estimar as relações de água na planta vêm sofrendo modificações que tornam o seu uso menos difícil e tedioso melhorando sua precisão. Um grande número de psicômetros e câmaras de pressão comerciais são possíveis de aquisição no exterior. Recentemente, foi produzido comercialmente, nos Estados Unidos, um aparelho denominado higrômetro de ponto de orvalho para medições do estado hídrico de amostras de folhas. Uma descrição detalhada desses aparelhos, vantagens e desvantagens, de seu uso e sua precisão é fornecida por SLAVIK (1974).

BARNETT & NAYLOR (1966); BLUM (1974); BLUM & EBERCON (1976); O'TOOLE (1976); HANSON et al (1977); entre outros, utilizam medidas ou estimativas do potencial hídrico da folha como um indicativo da resposta da planta à deficiência hídrica.

O'TOOLE (1976), relata que a prevenção à seca, pela manutenção de um alto potencial de água na planta, é o principal fator, sendo utilizado no IRRI, em seleção de arroz de sequeiro. HANSON et al (1977), estudaram o comportamento da pressão de turgor em milho, *Bromus* e híbridos de *Agropyron*, encontrando relação entre resistência à seca e a habilidade em manter turgores positivos sob maiores variações de potencial de água na folha.

Outros parâmetros de água na planta são utilizados por pesquisadores. DEDIO (1975) examinou o déficit de saturação relativa, o conteúdo de água e a capacidade de retenção desta em população segregante de trigo. Constatou ser a seleção para conteúdo de água mais efetiva e mais facilmente executável.

Sabe-se que algumas espécies cerram os estômatos logo no início da deficiência hídrica, ao passo que outras levam mais tempo. De acordo com O'TOOLE & CHANG (1978), a avaliação do comportamento estomatal como um indicador da deficiência hídrica, ou como meio de seleção para resistência à seca, é problemática e muito discutível. Seleção para sistema estomatal mais sensível ou menos sensível deve basear-se no tipo de ambiente para o qual se está selecionando o cultivar.

A abertura estomatal é facilmente estimada através do aparelho denominado parômetro, que mede a resistência difusiva estomática ao vapor de água. BLUM (1974), mediu o potencial de água e a resistência difusiva nas folhas de genótipos de sorgo. O melhor deles caracterizou-se por manter baixo potencial de água e baixa resistência difusiva, o que lhe permitiu maior extração da água armazenada no solo.

O'TOOLE & CHANG (1978) consideram a alta resistência cuticular como um atributo que contribui para a resistência à seca em arroz e descrevem métodos para a sua medição.

Um sistema de raízes longo e bem ramificado é extremamente desejável, desde que exista umidade a ser extraída no volume de solo explorado. Existem diferenças genótípicas no desenvolvimento de raízes; entretanto, a maioria dos métodos não é adequada à seleção de grande quantidade de material. HURD (1968) utilizou caixas de vidro para examinar as raízes de um número limitado de cultivares de trigo. Esse mesmo método vem sendo utilizado pelo IRRI (INTERNATIONAL, 1976, 1977) para selecionar progenitores para o programa de melhoramento de arroz.

Para as condições de cerrado, no Brasil, onde o teor de alumínio existente no solo pode prejudicar o desenvolvimento de raízes, pode-se especular que a seleção para tolerância a esse elemento contribua indiretamente na melhoria da resistência à seca. Uma metodologia rápida e eficiente, realizada em solução nutritiva, foi recentemente definida para arroz, no CNPAF (FAGERIA & ZIMMERMANN 1978). Restaria testar os cultivares que se sobressaíram nesse teste objetivando seu comportamento em relação à seca.

De acordo com THORNE (1966), a seleção para alta taxa fotossintética não é efetiva no aumento da produção. Entretanto, sob condições de "stress", a habilidade das plantas em continuar fotossintetizando a taxas relativamente altas, pode contribuir grandemente para a produção. De acordo com revisão de BOYER (1976), pode-se concluir que a fotossíntese é extremamente sensível à seca.

De acordo com HSIAO (1973), a maior parte do decréscimo na fotossíntese é causada pelo fechamento dos estômatos. Entretanto, BOYER (1971) aumentou a concentração de CO₂ no ambiente, elevando, assim, sua disponibilidade às folhas, sob condições de "stress", mas a taxa fotossintética não aumentou. Isso foi indicação de que ocorreram mudanças na atividade dos cloroplastos, como resultado do "stress".

O desenvolvimento de uma câmara portátil simplificada, para medir CO_2 , tornou possível a medição de fotossíntese em muitas plantas, num curto período de tempo (SULLIVAN et al 1976; CLEGG & SULLIVAN 1976), o que vem a facilitar estudos de resistência ao "stress", em relação à atividade fotossintética.

O método do índice de estabilidade clorofílica para medir a resistência à seca, que é a diferença entre as leituras colorimétricas do extrato de clorofila extraído de amostras de folhas aquecidas e não aquecidas e foi descrito por KALOYEREAS (1958). MURTY & MAJUMDER (1972), sugere modificações dessa técnica para utilização em plântulas de arroz, reduzindo peso de amostras e aumentando o tempo de aquecimento.

Diversas tentativas foram feitas para definir características bioquímicas que sejam indicadoras da resistência à seca, entre as quais acumulação de prolina, variação do nível de ácido ascórbico, aumento de ácido abscísico livre e modificações de enzima nitrato redutase (HSIAO, 1973).

A habilidade de acumular o aminoácido prolina sob condições de deficiência hídrica foi sugerida por SINGH et al (1973), como um teste de laboratório para seleção de resistência à seca em centeio. Entretanto, trabalhos posteriores (HANSON et al. 1977) invalidaram essa observação. BLUM & EBERCON (1976), verificaram estar a propriedade de acumular prolina, significativamente correlacionada com a recuperação após a seca. Testes foram realizados com arroz no IRRRI (INTERNATIONAL, 1976), numa associação positiva entre sobrevivência de tecido e a acumulação de prolina nas folhas.

O nível de ácido ascórbico nas plantas pode ser outra indicação de resistência à seca. GARG & SINGH (1971), trabalhando com plântulas de arroz, mostraram a significância do ácido ascórbico em relação a resistência à seca. MULLER (1977), trabalhando com arroz, encontrou que o ácido ascórbico estava relacionado com o conteúdo hídrico da planta.

Parece provável que o processo de síntese das substâncias reguladoras de crescimento é também afetado pela deficiência hídrica. Tem-se encontrado que a deficiência hídrica inibe a formação de auxinas e citocininas (LARSON, 1964; ITAI & VAADIA, 1965), enquanto o teor de ácido abscísico (ABA) é aumentado (WALTON et al., 1977). Estes autores encontraram também, que a taxa de síntese do ABA na folha sob deficit hídrico e não o seu conteúdo, é que determina a magnitude de abertura estomática. LOVEYS (1977), estudando o local de síntese do ABA, em tecidos de folhas de *Spinacea oleracea* L., submetidas a "stress", encontrou que, embora não possa descartar a possibilidade de o mesmo ser sintetizado fora do cloplastos, acaba migrando prontamente para outras partes da planta.

HUFFAKER et al. (1970), citados por SULLIVAN & EASTIN (1974), verificaram que as atividades de nitrato redutase e PEP carboxilase diminuíram em cevada sob "stress" de água. No entanto, pouco efeito foi causado sobre a fosforibuloquinase ou a carboxilase 1-5 difosfática. As atividades da nitrato redutase e PEP carboxilase recuperaram-se completamente, 24 h após a re-irrigação.

O CNPAF vem desenvolvendo trabalhos de seleção de cultivares de arroz e feijão relacionando dias de "stress" de água no solo com produtividade. Consideram-se dias de "stress" em que o conteúdo de água no solo é inferior ao nível crítico exigido pelas culturas. O conteúdo diário de água no solo é determinado através de um balanço hídrico. Uma das vantagens desta técnica é que ela permite ao pesquisador comparar diretamente o rendimento de cultivares sujeitos a diferentes graus de "stress" de água em diferentes épocas da floração à maturação.

MELHORAMENTO DE CULTIVARES PARA RESISTÊNCIA À SECA

O interesse mais acentuado no melhoramento dos cultivos para a resistência à seca em áreas tropicais, é ainda recente.

Para o despertar desse interesse, muito contribuiu um simpósio sobre resistência à seca, organizado pela Sociedade Americana de Agronomia e apresentado em Tucson, Arizona, em 1970. As contribuições publicadas focalizaram aspectos ambientais e biológicos atuantes no problema seca. No capítulo sobre melhoramento para resistência à seca. Hurd (1971), reconhecendo a grande tarefa que representa criar cultivares com esse atributo, dá uma mensagem de otimismo, ao focalizar as possibilidades do melhoramento existentes, ainda não exploradas.

Métodos atuais e novas opções no melhoramento para resistência à seca.

Basicamente, o método usual consiste em transferir, para uma cultivar comercial, um ou mais características desejáveis existentes em cultivares doadoras. É um procedimento que visa à manutenção do cultivar comercial, mediante as correções necessárias. Da cultivar doadora é transferido, por retrocruzamentos, o caráter desejado, mantendo-se intacta a cultivar recorrente. Dessa forma, não há aumento da variabilidade genética, que é o ingrediente principal para se operarem mudanças adaptativas, no caso presente, para a resistência da cultivar à seca.

Uma outra razão que pode ser comentada, para os insucessos no melhoramento das cultivares para resistência à seca, é a preocupação predominante dos melhoristas no atingimento de grandes produtividades em ambiente favoráveis sem atentarem para o fato de que grande parte das áreas agricultáveis da terra estão sujeitas aos deficits hídricos, durante o ciclo dos cultivos.

A abordagem do melhoramento das cultivares para a resistência à seca é muito mais amplo, se se considerar que essa resistência depende de um conjunto de características de naturezas anatômica, morfologia, fisiológica, controladas, em sua maioria, por poligenes, atuando em interação com o ambiente. São tantos os fatores a considerar que se justifica a adoção de uma estratégia de trabalho que seja gradual e contínua, no sentido de proporcionar um aumento da frequência dos genes desejáveis na população. Para isto, além da definição do método adequado a se seguir, há necessidade de força de trabalho de pesquisadores com participação interdisciplinar, nas fases de avaliação de germoplasma, identificando as características atuantes

em resistência à seca e a recombinação dessas fontes de resistência, a seleção em material segregante, novas recombinações, seleções e testes, culminando o processo com a liberação de cultivares crescentemente mais resistentes às deficiências hídricas e sem prejuízo de suas outras qualidades agrônomicas.

Existem outras opções para o melhoramento de cultivares para resistência à seca, como o uso de mutações induzidas e o emprego de cruzamentos inter-específicos.

A primeira delas exige o tratamento de grande número de sementes ou tecidos de plantas com mutagênicos, considerando que as mutações são erráticas e sucedem ao acaso. O material tratado é estudado geração após geração, para identificar se algum mutante atende aos objetivos procurados.

Com respeito à outra opção, ou seja, utilizar cruzamentos inter-específicos no melhoramento, com a finalidade de conseguir cultivares mais resistentes à seca, há possibilidades de sucesso. Também ela se baseia no aumento da variabilidade genética por cruzamentos inter-específicos.

Das quatro espécies cultivadas do gênero *Phaseolus*, o feijão-comum é o menos resistente à seca. É pensamento de alguns pesquisadores, como Coyne (1964), que a variabilidade genética pode ser grandemente aumentada, invertendo-se o processo da evolução, no sentido de agregar num "pool" gênico único, as quatro espécies cultivadas do gênero *Phaseolus*, que são o feijão comum, o feijão de Lima (fava) o feijão-da-Espanha e o feijão Teparí. Nesse "pool", estaria representada a variabilidade de cada uma das quatro espécies, o que ampliaria muito as possibilidades de cada uma das quatro espécies, se selecionarem cultivares superiores para diversas finalidades. Um problema maior que ainda não foi resolvido totalmente é o da esterilidade de alguns cruzamentos. Mediante o uso de alguns artifícios, como de uso de cruzamentos recíprocos, cultura de embrião, uso de diferentes combinações paternas, tem sido possível contornar alguns obstáculos. Usando a espécie *P. coccineus*, como ponte, Coyne (1964) admite que se possa obter, o "pool" das quatro espécies cultivadas da *Phaseolus*. Por oportuno, vale lembrar que Viehmeyer (1958) teve sucesso na obtenção de "pool gênico", cruzando diversas espécies do gênero *Pentstemon*.

Pesquisas em Progresso com arroz e feijão.

De acordo com O'Toole & Chang et al (1977), o melhoramento de arroz para resistência à seca em áreas tropicais é recente. O limitado progresso obtido até o presente baseia-se em seleções e testes empíricos, feitos em estações experimentais de diversos locais. São esperados grandes progressos futuros no melhoramento, na medida em que forem usados os resultados das pesquisas em fisiologia, ecologia e genética. Desde 1973, o IRRI vem avaliando o germoplasma de arroz para resistência à seca. Cerca de 10.000 introduções e linhagens de arroz já foram testadas na sede do IRRI, nas Filipinas e nos países participantes do programa cooperativo, no qual se inclui o Brasil. Na avaliação de linhas elites, ficou evidenciado que o material desenvolvido no Brasil e na Costa do Marfim tem alto nível de resistência à seca, mas

faltam características agrônômicas, como resistência ao acamamento, panículas mais atrativas e altura de planta mais adequada.

Com respeito ao feijão, tem havido interesse recente em testar métodos de avaliação de resistência à seca. São trabalhos isolados, desenvolvidos em sua maioria junto às universidades, como assunto para dissertações e teses. Neles são avaliados um número limitado de cultivares, com respeito às características selecionadas como de resistência à seca. Os resultados têm demonstrado a eficiência dos métodos de avaliação e a existência de grande variabilidade genética entre os cultivares usados na pesquisa, o que tem encorajado a realização de novas pesquisas nas relações solo-planta-água.

Como ocorreu com o arroz, o acompanhamento de testes preliminares, ensaios regionais e internacionais, cobrindo regiões ecológicas diversas, têm possibilitado a indicação de cultivares, mediante a aplicação de testes de estabilidade. Eles permitem escolher áreas que garantam uma produção máxima, sob condições de deficiência hídrica, relegando a um segundo plano o estabelecimento do potencial máximo de produtividade dos cultivares sob condições ideais de cultivo.

O CIAT – Colômbia – já tem indicações de cultivares promissoras para resistência à seca.

Um método de melhoramento de cultivares para resistência à seca.

Para alcançar o envolvimento global pretendido no melhoramento para resistência à seca e, com isto, assegurar maior possibilidade de sucesso, o método a se empregar deve atender às seguintes fases e requisitos:

Fases

- 1 – Avaliação da variabilidade genética existente na espécie para resistência à seca e detecção das fontes de resistência por meio de triagem de germoplasma.
- 2 – Recombinar, por meio de cruzamentos, as fontes de resistência com linhas elite ou cultivar comercial que não tenha esse atributo.
- 3 – Usar um esquema de trabalho que possibilite o aumento da frequência de genes de ação aditiva para resistência à seca, permitindo a quebra de ligações fatorais (linkage) e o desenvolvimento de uma base larga, de resistência a “stresses” ambientais ou de qualquer outra natureza.

Requisitos:

- 1 – Existência de um programa cooperativo amplo, sob a coordenação de um centro de produto e envolvendo entidades nacionais e internacionais.
- 2 – Atendendo ao grande número de cruzamentos exigidos pelo programa, há necessidade de usar uma fonte estável de macho esterilidade ou desenvolver técnica eficiente de emprego de gametocida. As emascações e poli-

nizações manuais nos programas tradicionais de melhoramento não atendem às necessidades de um programa de melhoramento populacional.

- 3 – Utilizar massa crítica de pesquisadores e de recursos suficientes para atuar interdisciplinarmente nas fases de avaliação, recombinação e seleção com a eficiência e continuidade exigidas.

Dentre os métodos e procedimentos de melhoramento populacional em uso para plantas autógamas, o atualmente aplicado pelo IITA – Nigéria – para melhoramento do caupi parece bastante funcional. Naquele país, nas décadas de 50 e 60, houve iniciativas de melhoramento do caupi. Elas não tiveram maior impacto por falta de um maior envolvimento dos problemas do cultivo, que não são poucos, se se considerar que, no Oeste da África, está o Centro de Origem de *Vigna unguiculata*. Somente a partir de 1971, o IITA deu esse envolvimento global, mediante o uso de melhoramento convencional e a introdução de melhoramento populacional. Os dois métodos são usados com eficiência; porém, para gradual concentração de genes de resistência à seca, o método populacional parece mais adequado. Ele tem suas origens nos trabalhos de Eberhart (1970) e Jensen (1970) que foram adaptados e desenvolvidos para caupi no IITA. Seguiram-se os trabalhos de Rachie & Rawal et al (1974/76). Em sua aplicação atual está assim delineado:

- 1 – Manutenção de uma população principal formada por 50–200 linhagens-elite, recombinadas com auxílio de macho esterelidade e conduzidas por seleção de famílias de meios irmãos.
- 2 – Manutenção de uma população de apoio, composta de linhas elites e de outras de interesse.
- 3 – Manutenção de subpopulações, onde são resolvidos, em cada uma, um problema específico de resistência às doenças e pragas ou a um “stress” ambiental.

O material selecionado nas subpopulações é recombinado e selecionado na população de apoio. A finalidade dessa população é receber, para recombinação, as linhas desenvolvidas nas subpopulações no sentido de melhorar suas qualidades agrônomicas, antes de elas entrarem na população principal para recombinação.

Na adaptação desse método, pretendida para o melhoramento de cultivares para resistência à seca, seriam recombinadas e selecionadas, nas subpopulações, as linhas resistentes à seca, obtidas pela equipe multidisciplinar que avaliou germoplasma nas áreas de morfologia, anatomia, fisiologia e ecologia. Pela própria complexidade dos fatores em jogo e o número de genes envolvidos, torna-se remota a probabilidade de se obterem as combinações gênicas num ciclo de seleção. Isto poderá ser facilitado mediante um trabalho contínuo de seleção de material, em condições de deficiência hídrica, a recombinação das linhas selecionadas, nova seleção e assim por diante, possibilitando a concentração de genes positivos para a resistência à seca, sem prejuízo das qualidades agrônomicas presentes tanto na população de apoio quanto na principal. É de se crer que a adoção desse método, permitirá um gradual avanço na habilidade das cultivares em resistir melhor aos efeitos dos déficits hídricos pela aplicação da seleção recorrente.

BIBLIOGRAFIA

- BARNETT, N. M. & NAYKIR, A. W. Amino acid and protein metabolism in bermuda grass under water stress. *Plant physiol.*, 41(7) : 1222-30, 1966.
- BLUM, A. Genotypic responses in sorghum stress. I. Reponse to soil moisture stress. *Crop sci.*, 14(3) : 361-4, 1974.
- BLUM, A. & EBERSON, A. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III Free proline accumulation and drought resistance. *Crop. Sci.*, 16 : 428-31, 1976.
- BOYER, J. S. Different sensitivity of photosynthesis to low water potentials in cor and soybeans. *Plant Physiol.*, 46 : 236-93, 1970.
- BOYER, J. S. Nonstomatal inhibition of photosynthesis in sunflower at low leaf water potencies. *Plant Physiol.*, 48 : 532-6, 1971.
- BOYER, J. S. Photosynthesis at low water potentials. *Phil. Trans. Royal Soc. London B.*, 273 : 501-12, 1976.
- BOYER, J. & McPHERSON, H. G. Physiology of water deficits. In: *Symposium on climate and rice*. Proceedings 1976. p. 321-43.
- CHANG, J. H. *Climate and agriculture, an ecological survey*. Chicago, Aldine, 1968.
- CLEGG, N. O. & SULLIVAN, C. Y. A rapid method for measuring carbon dioxide concentrations. *Agronomy Abstracts*. Houston, Texas, Nov. 28 Dec. 3, p. 70, 1976.
- COYNE, D. F. Specific hybridization in *Phaseolus*. *J. Hered.* 55 : 5-6, 1964.
- DEDIO, W. Water relations in sheat leaves as screening tests for drought resistance. *Can. J. Plant. Soil.*, 55 : 369-78, 1975.
- DUBÉ, P. A.; STEVENSON, K. R. & THURTEL, U. W. Comparison between two inbred corn lines for diffusive, resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water potential. *Can. J. Plant. Soil.*, 54 : 765-70, 1974.
- EBERHART, S. A. Techniques and methods for more efficient population improvement in sorghum. Ames, Iowa, 1970. (Iowa Agric. Home Economic Exp. Sta., 7088).
- EHLER, W. L. & VAN BAVEL, C. H. M. Leaf diffusion resistance elluminance and transpiration. *Plant Physiol.* 43 : 208-14, 1968.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório anual 1976 - 1977. Brasília, 1978. 183 p.
- FAGÉRIA, N. K. & ZIMMERMANN, F. J. P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância a toxicidade do alumínio em solução nutriente (Manuscrito em preparação). 1978.
- FOY, C. D. effect of aluminium on plant growth. IN: CARSON, E. W. ed *The plant root and its environment*. Charlottesville, USA, Univ. Press of Virginia. 1974. p. 601-42.
- FRANK, A. B.; POWER, J. F. & WILLIS, W. O. Effect temperature and plant water stress on photosynthesis, diffusion resistance, and leaf water potential in spring wheat. *Agron. J.*, 65 : 777-90. 1973.

- CARG, O. K. & SING, B. P. Physiological significance of ascorbic acid in relation to drought resistance in rice (*Cryza sativa* L.). *Plant Soil.*, 34 : 219-23, 1971.
- HANSON, A. D. et alii Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop Sci.*, 17 (5) : 120-726, 1977.
- HEATH, O. V. S. The water relations of stomatal cells and the mechanisms of stomatal movement. In: STENARD, F. C. ed. *Plant Physiology*. New York, Academic Press, 1959, v. 2. p. 193-250.
- HENCKEL, P. A. Physiology of plant drought. *Ann Rev. Plant Physiol.*, 15 : 363-68, 1964.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Ann Rev. Plant Physiol.*, 24 : 519-70, 1973.
- HURD, E. A. Growth of roots of seven varieties of spring wheat at high and low moisture levels. *Agron. J.*, 60 : 201-5, 1971.
- INTERNATIONAL Rice Research Institute. Annual Report for 1973. Los Baños, Philippines, 1974. 384 p.
- INTERNATIONAL Rice Research Institute. Annual Report for 1975. Los Baños, Philippines, 1976. 479 p.
- INTERNATIONAL Rice Research Institute. Annual Report for 1976. Los Baños, Philippines, 1977. 418 p.
- ITAI, C. & VAADIA, Y. Kinetin-like activity in root exudate of water stressed sunflower plants. *Physiol. Plant.* 18 : 941-44, 1965.
- JENSEN, N. F. O diallel selective mating system for cereal breeding *Crop Sci.* 10 (18) : 629-35, 1970.
- JORDAN, W. R. & RITCHIE, J. T. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption and internal water status of cotton. *Plant Physiol.* 48 : 783-8, 1971.
- KALOYREAS, S. A. A new method of determining drought resistance. *Plant Physiol.*, 33 : 232-3, 1958.
- KANEMASU, E. T. & TANNER, C. B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. In: Influence of leaf-water potential. II. Effect of light. *Plant Physiol.*, 44 : 1542-52, 1969.
- KETELLAPER, H. J. Stomatal physiology. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 14 : 249-70, 1963.
- KRAMER, P. J. *Plant and soil water relationships*. New York, Mc Graw-Hill, 1969. p. 104-48.
- KRIEDEMANN, P. E. & Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetic*, 5 : 6-15, 1971.
- LARSON, P. R. Some indirect effects of environment on wood formation In: ZIMMERMANN, M. H. ed. *The formation of wood in Trees*. New York, Academic Press, 1964. p. 345-6.
- LEVITT, J. *Responses of plants to environmental stresses*. New York, Academic Press, 1972. 697 p.
- LOPES, A. S. Available Water, Phosphorus fixation, and zinc levels in Brazilian cerrado soils in relation to their chemical mineralogical properties. Releigh, N. C., North Carolina State University, 1977. 189 p. (PhD Thesis).

- MAGALHÃES A. A. Efeito do deficit de água sobre a produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba., 1977. (Tese de mestrado).
- McWILLIAM, J. R. & KRAMER, P. J. The nature of the perennial response in Mediterranean Grasses. I Water relations and summer survival in *Phalaris*. *Aust. J. Agr. Res.*, 19 : 381-95, 1968.
- MULLER, M. W. Efeito do Potássio e do Cloreto de Cloroetil trimetil Amônio sobre os Níveis de Prolina Livre e de Vitamina C em plantas de Arroz submetidas a Deficit Hídrico. Viçosa, UFV. 1977. 46 p. (Tese Mestrado).
- MURTY, K. S. & MAJUNDER, S. K. Modifications of the technique for determination of chlorophyll stability index in relation to studies of drought resistance in rice. *Curr. Sci.* Bangalore, 31 (11) 470-1, 1972.
- MATSUHIMA, S. Water and physiology of indica rice. *Proc. Crop Science Soc. Jap. Spec.* 102-9, 1968.
- O'TOOLE, J. C Drought resistance in rice, genotypic variation in maintenance of leaf water potential. *Agron. Abstr.*, nov./dec. 1976. p. 74.
- & CHANG, T. T. Drought resistance in cereals: rice a case study. 53 (Paper presented at the international Conference on Stress Physiology of Plants useful for food Productions, New York, June, 28-30, 1977).
- PARKER, J. Drought resistance mechanisms. In: *Water deficits and plant Growth* eds. New York, Academic Press. 1968. p. 125-167.
- PORTES, T. A. Efeito do Deficit Hídrico sobre a Fotossíntese e a Respiração em *Phaseolus bracteolatus*. Viçosa, UFV, 1977. 40 p. (Tese Mestrado).
- RASCHKE, K. Stomatal Action. *Ann Rev. Plant. Physiol.* 26 : 309-40, 1975.
- ROBINS, J. S. & DOMINGO C. C. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. *Agron J.*, 45 : 618-21, 1953.
- SALTER, P. J. & GOOD, J. E. *Crop responses to water at different stages of growth*. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Bucks England. 1967. 246 p.
- SINGH, T. N., et alii Stress metabolism. II. Changes in proline concentration in excised plant tissues. *Aust. J. Biol. Sci.* 26 : 57-63, 1973.
- SLATYER, R. O. *Plant-water relationship*. New York, Academic Press, 1967. 296 p.
- SLAVIK, B. Water in cells and tissues. In: Jacobs et al eds. *Methods of studying plant water relations. Prague and New York, 1974. p. 1-119.*
- SULLIVAN, C. Y. Techniques for measuring plant drought stress. In: Drought injury and resistance in crops, (*Crop. Sci. Soc. Am. Spec. Publ.*, 2.)
- SULLIVAN, C. Y. & EASTIN, J. D. Plant physiological response for water stress. *Agricultural Meteorology*, 14 : 113-27, 197.
- SULLIVAN, C. Y. et alii A new portable method for measuring photosynthesis. *Agronomy abstracts*. Nov. 28/Dec. 3.
- THORNE, G. N. Physiological aspects of grain yield in cereals. In: M. Ithorpe, F. L. & Ivins. eds.

The growth of cereal and grasses. London, Butterworth, 1966. p. 88-105. 1966.

WALTON, D. C. et alii The relationship between stomatal resistance and Abscisis - Acid in leaves of water stressed bean plants. *133* : 145-8, 1977.

VIEHMEIYER, G. Reversal of Revolution in the Genus Pentstemon. *The American Naturalist* 92 (684) : 129-36, 1958.

ZELITCH, I. Eviromental and blochemical control of stomatal movement in leaves. *Biol. Rev.* 40 : 463-82, 1965.