

## ESTRATÉGIAS DE MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA À SECA EM GERMOPLASMA DE MILHO TROPICAL

MARIA ELISA AYRES GUIDETTI ZAGATTO PATERNIANI,  
CRISTIANI SANTOS BERNINI,  
PAULA DE SOUZA GUIMARÃES e  
CINTHIA SOUZA RODRIGUES.

**RESUMO** - A seca é a causa mais severa da redução da produção agrícola e o aquecimento global previsto agravará, consideravelmente, o impacto do déficit hídrico. Alterações climáticas e custos elevados da irrigação são outros fatores que podem afetar ainda mais os problemas ocasionados pela deficiência hídrica, aumentando a necessidade de melhoramento genético para tolerância à seca em milho. A estratégia mais efetiva é a obtenção de cultivares tolerantes que possam escapar do estresse hídrico durante os períodos mais críticos da cultura, com a seleção de germoplasma que possua variabilidade genética para os caracteres adaptativos relacionados à seca. A demanda por cultivares de milho é grande por parte dos agricultores e o mercado disponibiliza poucas cultivares que sejam adaptadas, tolerantes à seca e de alta produtividade. Um programa de Melhoramento Genético para tolerância à seca é um trabalho de médio a longo prazo, difícil por se tratar de um caráter complexo, controlado por vários genes, com grande influência do ambiente, requerendo conhecimentos multidisciplinares e um sistema confiável de experimentação de campo. Com esse enfoque, este artigo apresenta uma revisão de tópicos sobre estratégias de melhoramento para tolerância à seca, principais caracteres e métodos de melhoramento genético utilizados, bem como um histórico dos trabalhos para a obtenção de híbridos e populações de milho visando à tolerância ao déficit hídrico do Instituto Agrônomo (IAC), em Campinas, SP.

**PALAVRAS-CHAVE** - estresse, déficit hídrico, seleção

### I. INTRODUÇÃO

A seca e a disponibilidade de água no planeta já estão entre as principais preocupações das diversas lideranças mundiais, havendo indicações de que a água será um produto raro futuramente. Estudos relacionados com tolerância à seca são estratégicos para o país, pois esse é o estresse abiótico mais complexo e de maior efeito sobre as culturas, sendo considerado um dos fatores que mais limita a produção mundial de alimentos [21]. Na cultura do milho, não é diferente. A seca é um dos fatores que causa grandes prejuízo ao desenvolvimento e rendimento da planta, causando redução severa na produtividade de grãos, reduzindo até 100% na produtividade do milho. Segundo Barker et al. [23], a perda média anual de produtividade de milho causada pela seca é de aproximadamente 15% em regiões temperadas e 17% em regiões tropicais. Essa situação é ainda mais agravada quando o milho é semeado durante a segunda safra, pois fica sujeito a maior instabilidade climática com maior probabilidade de ocorrência de períodos de déficit hídrico, já que a safrinha abrange o final do período chuvoso [24]. Assim, a avaliação de genótipos sob déficit hídrico deve ser destaque em programas de melhoramento.

Um Programa de Melhoramento Genético para Tolerância

à Seca é um assunto de médio a longo prazo, é um trabalho difícil por se tratar de um caráter complexo, controlado por vários genes, com grande influência do ambiente, requerendo conhecimentos multidisciplinares e um sistema confiável de experimentação de campo. De forma sucinta, as principais estratégias de condução, e, ou, as metodologias para o melhoramento genético visando tolerância à seca são: i) escolha adequada dos materiais genéticos disponíveis; ii) realização de cruzamentos; iii) instalação e avaliação dos experimentos em ambientes com e sem déficit hídrico e iv) utilização de parâmetros fisiológicos e secundários relacionados com caracteres de estresse no programa de melhoramento.

A utilização adequada dos materiais genéticos é um dos objetivos que constitui a sustentação do programa de melhoramento de milho a ser trabalhado. Em termos de produtividade de grãos e diversidade genética, deve-se manter um nível adequado que proporcione estabilidade e adaptabilidade e, ou, segurança à produção. Nesta linha cabem aos profissionais da área de Melhoramento Genético a competência de promover mútua cooperação diante da necessidade do intercâmbio de germoplasma e, ou, de materiais genéticos para a obtenção de maiores e mais rápidos sucessos nos programas de melhoramento. A escolha do germoplasma

é fundamental no desenvolvimento de cultivares, seja para obtenção de híbridos ou linhagens, podendo ser o sucesso ou fracasso da seleção.

O germoplasma das culturas é constituído por raças crioulas, populações adaptadas e materiais exóticos introduzidos, sendo caracterizado pela ampla variabilidade genética. As populações crioulas, raças locais ou variedades são menos produtivas que as cultivares comerciais. Entretanto, estas populações são fontes de variabilidade genética que podem ser exploradas na busca por genes de tolerância aos fatores abióticos, pelo elevado potencial de adaptação que apresentam para condições ambientais específicas [19]. O desafio na seleção de novas fontes de germoplasma para tolerância à seca está dentro de um contexto da própria habilidade do melhorista com a espécie afim, tendo como foco principal a obtenção de genótipos-élite que venham a compor futuramente o mercado.

## II. HISTÓRICO DAS PESQUISAS DE TOLERÂNCIA À SECA

Historicamente, o IAC foi o palco do primeiro programa de Milho híbrido do Brasil, em 1932, lançando o primeiro híbrido duplo brasileiro, em trabalho desenvolvido por Krug e colaboradores. Os trabalhos de melhoramento de populações de milho iniciaram na década de 60 e foram desenvolvidos com enfoque de introduzir genes de tolerância em populações parentais e híbridos tolerantes aos fatores ambientais desfavoráveis [17].

As pesquisas sobre o mecanismo de evitar a seca foram introduzidas no início dos trabalhos de melhoramento no IAC, por volta de 1972, com a cultura de milho tropical, obtido pelo germoplasma “latente” para condições de seca [16]; [8]). [16] estudou a herança do caráter latente em milho nas populações IAC Maya Latente e IAC 1 latente, em relação à tolerância a geadas e ao calor. Este estudo indicou que o efeito fisiológico exibido no milho latente (Michoacán 21 comp.1-104) pode ser devido a atuação de um ou dois locos. Indicaram que nas populações provenientes de cruzamentos com milho latente e selecionados por meio de geadas, as sementes revelaram maior tolerância quando testadas ao calor do que as populações originais. [7] demonstraram o menor consumo de água do IAC Maya Latente em déficit hídrico, e verificaram que seu consumo sob condições de excesso de chuva (mais de 5 mm/dia) foi superior, e com falta de água (menos de 5 mm/dia) pois seu consumo baixou até 57% em relação às cultivares normais.

No México, estudos em variedades de milho identificaram diferentes mecanismos de tolerância, que foram relatados por pesquisadores desde 1960 pela Fundação Rockefeller [16]. Dentre essas variedades, cita-se o Cateto Criolo cultivado no Estado de Oaxaca no México, que possui alto nível de tolerância à seca e caracteriza-se por ter longo ciclo vegetativo, com lento desenvolvimento até as chuvas iniciarem, quando há uma rápida resposta em termos de desenvolvimento e recuperação.

A variedade Michoacán 21 possui o mecanismo de tolerância à seca denominado “latente”, que consiste no prolongamento do estágio vegetativo, em condições de estresse hídrico, retomada rápida do crescimento normal e do estágio reprodutivo, assim que se inicia o período das chuvas [14]. Neste contexto, destaca-se que o intercâmbio entre as Instituições de linhagens-élite ou variedades tropicais é a maneira mais eficiente para ampliação da variabilidade genética, mas tem sido restrito, na prática.

No ano de 2010, o programa de melhoramento do IAC retomou novos estudos de tolerância a seca, buscando aliar as áreas de fisiologia vegetal e melhoramento, para melhorar a eficiência da seleção na busca de novos genótipos tolerantes.

## III. CARACTERES RELACIONADOS COM TOLERÂNCIA À SECA

Há diversos caracteres secundários relacionados com tolerância à seca que são utilizados em programas de melhoramento: altura de plantas, florescimento masculino e feminino, intervalo entre o florescimento masculino (pendoamento, anteras) e florescimento feminino (espigas, estilo-estigmas), esterilidade, número de espigas por parcela, tamanho e número de ramificações do pendão, enrolamento foliar e “stay green”(senescência retardada de folhas e colmo).

Existem várias características que são importantes na tolerância, porém depende de quando ocorre e a intensidade da seca. No caso de estresse precoce, o ajuste osmótico é um dos principais componentes. Essa regulação permite que a planta busque água para manter o turgor celular e, consequentemente, mantenha as suas funções vitais por mais tempo sob estresse. Dentre as alterações metabólicas relacionadas à deficiência hídrica, destaca-se o acúmulo de solutos, como glicina-betaína, prolina, aminoácidos solúveis, proteínas e açúcares solúveis [10].

Muitos estudos relatam que a fase em que o milho está mais sensível à seca é o florescimento, sendo o intervalo entre a antese e a emissão dos estilo-estigmas (intervalo de florescimento) a que está mais correlacionada com a produção de grãos sob estresse de seca.

O estresse no florescimento ocorre quando há um período seco entre o início da antese e o aparecimento dos estames - aproximadamente um mês - o que pode resultar na esterilidade ou a redução severa do número de grãos por espiga, devido à remobilização de fluxo da distribuição de carboidratos. Os efeitos da seca durante a maturação dos grãos podem ser mitigados por um atraso na senescência e mobilização dos estoques de carboidratos no caule.

Se o estresse ocorre no estágio do florescimento, o fluxo da distribuição de carboidratos passa a ser o componente principal. Os efeitos da seca durante a maturação dos grãos podem ser mitigados por um atraso na senescência e mobilização dos estoques de carboidratos no caule.

A deficiência hídrica afeta a translocação do ácido abscísico (ABA) das raízes para as folhas e para os grãos, provocando o enrolamento das folhas, fechamento dos estômatos e acelerando a senescência das folhas, com finalidade de

regular a perda de água em excesso pela planta em condição de seca. Outras funções fisiológicas das plantas sob seca também são afetadas, como a foto-oxidação da clorofila e atividade enzimática (BÄNZINGER et al., 2000).

BÄNZINGER et al. (2000) recomendam características práticas que podem ser utilizadas na seleção para tolerância a seca em milho como aumento do número de espigas por planta (prolificidade), reduzido intervalo entre florescimentos feminino e masculino mesmo tornando o negativo; seleção para atraso da senescência (stay-green); seleção para redução do tamanho e das ramificações do pendão, seleção para redução do enrolamento foliar, todas com herdabilidades variando de média a alta sob déficit hídrico.

#### IV. MÉTODOS DE MELHORAMENTO CONVENCIONAL PARA TOLERÂNCIA À SECA

A maioria dos híbridos e variedades com tolerância à seca vêm sendo desenvolvidos e melhorados com utilização do melhoramento genético convencional.

Métodos que visam ao aumento de frequência de alelos favoráveis na população são os mais recomendados, como os de seleção recorrente intra e interpopulacional. Os acréscimos nas frequências alélicas são funções que dependem da magnitude da ação gênica, do processo e da intensidade de seleção e da precisão experimental. Diferentes procedimentos de seleção recorrente foram desenvolvidos, como seleção entre e dentro de progênies de meios-irmãos, de irmãos germanos, endógamas, além de modificações aos métodos. A eficácia de cada método depende da população, das características selecionadas e do objetivo do programa. O método interpopulacional é efetivo para o melhoramento de duas populações e da heterose que se manifesta nos cruzamentos, assim como na seleção de híbridos tolerantes à seca e no aumento da probabilidade de obtenção de linhagens superiores.

O genótipo tolerante à seca possui maior produtividade de grãos do que o genótipo sensível em diversos ambientes sob estresse hídrico e com irrigação. O genótipo ideal deve apresentar alta produtividade de grãos em ambas condições, a não-estressante e sob estresse hídrico. Portanto, o melhoramento para tolerância à seca busca obter o máximo potencial para produtividade de grãos e diminuir a lacuna entre o potencial produtivo e a produtividade sob estresse (MESSMER STAMP, 2010).

A “expressão” da tolerância depende do estágio de desenvolvimento quando ocorre o déficit hídrico, da sua intensidade e duração. [9] ressaltam que a condução dos experimentos em ambientes com estresse hídrico causa padrões similares de discriminação entre genótipos adaptados e não adaptados. Assim, torna-se necessário buscar uma abordagem mais eficiente para selecionar cultivares tolerantes à seca.

#### V. SELEÇÃO RECORRENTE

Os programas de seleção recorrente têm por objetivo encontrar uma resposta à seleção por longo prazo para a caracte-

rística de interesse pelo aumento da frequência de alelos favoráveis, enquanto mantêm simultaneamente a variabilidade genética do germoplasma para seleções posteriores.

Cada ciclo de um programa de seleção recorrente consiste de três fases: (1) desenvolvimento de progênies (meios-irmãos, irmãos germanos, S1, S2), (2) avaliação das progênies em ensaios com repetições que podem ser conduzidos em diferentes ambientes e serem selecionadas com base nos caracteres de interesse e (3) recombinação das progênies selecionadas, baseada em avaliação de ensaios, para formar uma nova população para o próximo ciclo de seleção [26].

Os esquemas de seleção recorrente são classificados em duas categorias: seleção recorrente intrapopulacional e interpopulacional, também denominada de seleção recorrente recíproca. Na seleção recorrente intrapopulacional, o objetivo é melhorar as performances per se das populações, enquanto na interpopulacional o objetivo é o melhoramento do cruzamento de duas populações, ou seja, o híbrido interpopulacional.

O método de seleção entre e dentro de progênies de meios-irmãos, desenvolvido por [20], utiliza sementes remanescentes para recombinação das progênies selecionadas a cada ciclo. A vantagem do método consiste na facilidade e simplicidade de execução, permitindo avaliar grande número de progênies e obter estimativas estatístico-genéticas e ganho de seleção.

Os diferentes métodos não se diferenciam apenas quanto ao tipo de progênie utilizada na seleção, mas também quanto ao tipo de progênie utilizada na recombinação dos genótipos superiores, o que irá interferir no ganho de seleção a ser alcançado. Teoricamente, as famílias de irmãos germanos são mais eficientes do que as de meios-irmãos, devido ao melhor controle parental e, conseqüentemente, o ganho predito na seleção deverá ser maior.

O melhoramento interpopulacional ou seleção recorrente recíproca se utiliza de duas populações, onde genótipos de cada população são avaliados em cruzamentos com a outra, e os genótipos de cada população que apresentam melhor capacidade de combinação com a população recíproca são recombinados entre si. Assim, procura-se melhorar a heterose do cruzamento das duas populações.

Os esquemas mais utilizados de seleção recorrente recíproca são aqueles envolvendo progênies de meios-irmãos ou de irmãos germanos interpopulacionais para a avaliação e progênies S1 para a recombinação [27]. No entanto, diversos autores propuseram alterações nos procedimentos originais de seleção recorrente.

redPaterniani Vencovsky (1977, 1978) - não tem essa referência sugeriram os testcrosses de progênies de meios-irmãos, onde progênies de meios-irmãos de duas populações são utilizadas e cada população serve de testador recíproco para a outra. As sementes remanescentes das progênies de meios-irmãos de cada população dos testcrosses selecionados, com base em ensaios com repetições, são utilizadas para recombinação.

[11] sintetizou uma população tolerante à seca pelo método de seleção recorrente interpopulacional, obtendo progênies com tolerância indicando a seleção eficiente utilizando caracteres secundários para seleção de genótipos com tolerância, e a aplicação de delineamento e modelo (genéticos e estatísticos) proporcionou a máxima precisão. [2] também utilizou o método de seleção recorrente interpopulacional, porém com a fonte de tolerância do IAC Maya Latente como doador masculino na recombinação.

## VI. SELEÇÃO FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS TOLERANTES À SECA

A caracterização fenotípica de materiais genéticos tolerantes e sensíveis à seca pode ser realizada a partir de observações de ensaios de campo com a avaliação dos materiais genéticos do programa visando atender: i) possibilidade de identificação de cruzamentos superiores e ii) capacidade de avaliação de grande número de genótipos, utilizando delineamentos adequados e ambientes controlados. Nos experimentos assim delineados, os blocos devem ser definidos de tal forma a haver homogeneidade dentro de blocos, para assim poder decompor a variabilidade no material em partes devidas às causas de origens conhecidas e uma quantidade residual atribuída ao erro experimental.

As repetições dos experimentos em ambientes favoráveis e em ambientes sob condições de seca também são de extrema importância para lograr progresso na experimentação (COOPER et al., 2006). Muitos trabalhos indicam a existência de uma correlação positiva entre ambientes com e sem estresse de seca, pois a realização da seleção somente em condições de déficit hídrico produz uma boa adaptação ao estresse, porém, esses genótipos falhariam em aumentar a produção quando submetidos em condições adequadas de irrigação, ou seja, não seriam responsivos. Em alguns programas de melhoramento de milho é empregada uma porcentagem em torno de 50-60% na condução dos ensaios em ambientes sob estresse de seca, e o restante em áreas com adequada disponibilidade hídrica. Nos experimentos de tolerância à seca a utilização de ambientes controlados é requerida nas fases iniciais do programa de melhoramento. A caracterização de parâmetros fisiológicos e controle do ambiente, tais como, umidade, luz, temperatura e água podem ser obtidos pela câmara de crescimento e, ou, casa-de-vegetação, para assim selecionar e discriminar as plantas em nível morfológico, molecular e fisiológico.

Nos trabalhos de [11] e [22] foram utilizados quatro híbridos de milho considerados sensíveis e tolerantes à seca, segundo informações das empresas e resultados de experimentos avaliados na 2<sup>o</sup> safra de plantio. Para a caracterização fenotípica, estudos complementares foram realizados para quantificação de parâmetros de tolerância e sensibilidade, em casa-de-vegetação, sob déficit híbrido em 3 estádios fenológicos da cultura. Concluiu-se que o estádio de maior sensibilidade à seca é o florescimento e que dentre os parâmetros fisiológicos, o mais relacionado com tolerância à seca é a condutância estomática.

[12] mostraram êxito no emprego desta estratégia utilizando o híbrido Sensível que foi o mais danificado em termos de parâmetros fisiológicos sob estresse e a fotossíntese foi considerada a melhor característica para discriminar os tratamentos sob irrigação e seca para selecionar híbridos tolerantes e sensíveis.

Em estudo de casa-de-vegetação [3] estudaram a variedade IAC Maya Latente e verificaram comportamento produtivo estável nos ambientes de irrigação normal e déficit hídrico, devido à maior sensibilidade (fechamento) dos estômatos, resultando no maior acúmulo de matéria seca total e pouca redução do índice de colheita, em estresse hídrico. É sugerido que a seleção em ambientes ótimos de irrigação não é efetiva na identificação de genótipos superiores para condições de seca, devido à baixa variância genética e herdabilidade da produtividade de grãos [5]. De acordo com [6], duas considerações podem melhorar a herdabilidade e a eficiência da seleção para produtividade sob déficit hídrico e/ou compensar a baixa herdabilidade da produção sob estresse: (1) a condução do campo experimental sob déficit hídrico deve apresentar homogeneidade das condições de umidade do solo e assim reduzir o erro experimental e (2) utilizar populações que contenham variabilidade genética para produtividade de grãos, tolerância a seca e ideotipo de plantas que contenham os caracteres secundários.

Os experimentos de seleção precisam de gerenciamento cuidadoso e o uso de delimitos experimentais adequados minimizam os efeitos da variação ambiental. Na seleção de campo, a incorporação de caracteres secundários tem auxiliado a eficácia de genótipos [1]. As cultivares tidas como tolerantes representam as que suportam o período de baixa disponibilidade de água no solo, evitando a dessecação. Este tipo de tolerância à seca é necessário para manter a estabilidade da produção, quando o déficit hídrico aparece inesperadamente durante o ciclo da cultura.

O status hídrico nas plantas tolerantes se mantém devido às folhas estarem enroladas e os estômatos se fecharem quando a umidade relativa é baixa, e também devido à presença de uma espessa camada de cera epicuticular (LUDLOW MUCHOW, 1990). [11] avaliou a massa de grãos e caracteres secundários em progênies interpopulacionais de milho, de ciclo 0 de seleção recorrente recíproca, observando alta variabilidade genética para esses caracteres. Destacaram-se a precocidade e o menor número de ramificações do pendão dessas progênies e alto ganho com a seleção entre progênies para prolificidade e intervalo entre florescimentos masculino e feminino.

Mecanismos fisiológicos de tolerância à seca em progênies interpopulacionais de milho foram estudados por Guimarães (2013), com a finalidade de discriminar progênies e híbridos tolerantes de sensíveis. A Pop Tol 1 foi o resultado desta pesquisa com as características de menor altura de plantas, stay-green acentuado e alta prolificidade.

[4] desenvolveram pesquisa com melhoramento interpopulacional utilizando a variedade IAC Maya Latente. O mecanismo de “latência” consiste em prolongar o estádio ve-

getativo sob estresse hídrico, permitindo que o florescimento ocorra logo após as chuvas iniciarem, para assim ter um rápido desenvolvimento para completar o ciclo reprodutivo. Foram obtidas novas populações e progênies interpopulacionais com elevados níveis de tolerância.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se a gravidade do cenário da falta de água no mundo, estudos de tolerância à seca se revestem de enorme importância e esse é o estresse abiótico mais complexo e de maior efeito sobre as culturas, sendo ainda o principal fator que deve limitar a produção mundial de alimentos nos próximos anos.

Um Programa de Melhoramento Genético para Tolerância à Seca é um assunto de médio a longo prazo, é um trabalho difícil por se tratar de um caráter complexo, governado por vários genes, com grande influência do clima, requerendo conhecimentos multidisciplinares e um sistema confiável de experimentação de campo.

Diversos estudos demonstram a importância do melhoramento convencional e da seleção de caracteres secundários em milho (stay green, intervalo de florescimento, enrolamento foliar), resultando em progressos na seleção. O melhor período do estresse hídrico para discriminação de genótipos sensíveis e tolerantes é o florescimento e enchimento de grãos. Diversos trabalhos foram desenvolvidos no Instituto Agrônomo (IAC), resultando em populações e híbridos intervarietais com níveis elevados de tolerância à seca.

Futuramente, trabalhos de transgenia e de Engenharia Genética poderão contribuir para a obtenção de híbridos de milho tolerantes à seca.

## Referências

- BÄNZIGER, M.; LAFITTE, H.R. Efficiency of secondary traits for improving maize low-nitrogen target environments. *Crop sci.*, Madison, v. 39, p. 1035-1040, 1997.
- BARKER T., H. CAMPOS, M. COOPER, D. DOLAN, G. EDMEADES, J. HABBEN, J. SCHUSSLER, D. WRIGHT, C. ZINSELMEIER, 2005. Improving drought tolerance in maize. pp. 173-253. In: J. Janick (Ed.), *Plant Breed. Rev.*, Vol. 25. John Wiley Sons, Inc., New York.
- BERNINI, C. S. Seleção de progênies interpopulacionais de milho e estimativas de parâmetros genéticos relacionados com tolerância à seca. 2015. 118f. Tese (Doutorado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Instituto Agrônomo, Campinas.
- BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; GARCIA, L. A. C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênies interpopulacionais de milho selecionadas sob condições de déficit hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.15, p.39-52, 2015.
- BERNINI, C. S., GUIMARÃES, P. S.; GARCIA, L. A. C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Caracteres fisiológicos e agrônômicos em progênies interpopulacionais de milho selecionadas sob condições de déficit hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.15, p.39-52, 2016.
- BÉTRAN, F.J.; BECK, D.; BÄNZIGER, M.; EDMEADES, G.O. Genetics analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non stress environments in tropical maize. *Crop Science*, Madison, v. 43, p.807-817, 2003.
- BLUM, A. *Plant breeding for water-limit environments*. 1.ed. New York/Dordrech/Heidelberg/London: Springer, 2010. 258 p.
- BRUNINI, O.; CAMARGO, M.B.P.de; MIRANDA, L.T.; SAWAZAKI, E. Resistência estomatal e potencial da água em variedades de milho em condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1981, Pelotas. Anais... Pelotas, 1981. p. 130-134.
- CÂMARA, T.M.M.; BENTO, D.A.V.; ALVES, G.F.; SANTOS, M.F.; MOREIRA, J.U.V.; SOUZA JÚNIOR, C.L. Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 4, p. 595-603, 2007.
- EDMEADES, G.O.; BOLAÑOS, J.; LAFITTE, H.R.; Progress in breeding for drought tolerant in maize. In: *Proceedings of the 47th Annual Corn and Sorghum Research Conference*. D.Wilkinson (Ed.). ASTA, Washington, pp.93-111.
- FARHAD, M.S.; BABAK, A.M.; REZA, Z.M.; HASSAN, R.S.N.; AFSHIN, T. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. *Australian Journal of Crop Science*, Brisbane, v. 5, p. 55-60, 2011.
- GUIMARÃES, P.S. Mecanismos fisiológicos e avaliação de progênies de irmãos germanos interpopulacionais de milho com ênfase em tolerância à seca. 2013. 135f. Tese (Doutorado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.
- GUIMARÃES, P.S.; BERNINI, C.S.; PEDROSO, F.K.J.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z. Characterizing corn hybrids (*Zea mays* L.) for water shortage by principle components analysis. *Maydica*, Bergamo, v.59, n.1, p. 72-79, 2014.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. Quantitative genetics in maize breeding. Ames: Iowa State University, 1988. 468 p.
- HALLAUER, A.R. Compendium of recurrent selection methods and their application. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, v.3, 0.1, p.1-33, 1985.
- HAYANO-KANASHIRO, C.; CALDERÓN-VÁSQUEZ, C.; LACLETTE-IBARRA, E.; ESTRELLA-HERRERA, L.; SIMPSON, J. Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *Public Library of Science*. San Francisco, v.4, n.10, 2009.
- HEINEMANN, A. B. et al. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no Estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1026-1033, 2009.
- MIRANDA, L.T. de. A característica “latência” do milho (*Zea mays* L.) e suas possibilidades no melhoramento. 1972. 93f. Tese (Doutoramento) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- USP, Piracicaba.
- MIRANDA, L.T.; MIRANDA, L.E.C. Milho: Genética Ecológica. In: FURLANI, A.M.C.; VIÉGAS, G.P. O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo. Campinas: Instituto Agrônomo, v.1, 1993. p. 363-409.
- PATERNIANI, E. Maize breeding in the tropics. *Critical Reviews in Plant Sciences*, n.9, p.125-154, 1990.
- PATERNIANI, E. Selection among and within half-sib families in a Brazilian population of maize (*Zea mays* L.). *Crop Science*, Madison, v.7, n.3, p.212- 216, 1967.
- PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; BERNINI, C.S.; GUIMARÃES, P.S.; GALLO, P.B. Seleção de Progênies de Meios-Irmãos e Estimativas de Parâmetros Genéticos da População Tolerante à Seca de Milho IAC Tol 1. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos...Campinas: Instituto Agrônomo / Associação Brasileira de Milho e Sorgo, v.1, 2012. p. 3129-3134.
- PENNISI, E. The blue revolution, drop by drop, gene by gene. *Science*, v.320, n. 5873, p. 21-39, 2008.



**MARIA ELISA AYRES GUIDETTI ZAGATTO PATERIANI**

Concluiu o doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) [Esaq] pela Universidade de São Paulo em 1995. Atualmente é Pesquisador Científico VI do Instituto Agronômico de Campinas. Possui 3 produtos tecnológicos registrados. Atua na área de Agronomia, com ênfase em Melhoramento Genético Vegetal de Milho e Genética Quantitativa. Em suas atividades profissionais

interagiu com 41 colaboradores em co-autorias de trabalhos científicos. É assessora ad hoc da FAPESP e Editora adjunta da Revista Brasileira de Milho e Sorgo. Atuou como 1ª Secretária da Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas (2005-07). Foi Diretora do Núcleo de Pesquisa do Centro de Grãos e Fibras do IAC e Coordenadora da área de Melhoramento Genético Vegetal da Pós graduação do IAC. Atua como docente na PG IAC ministrando as disciplinas Genética Quantitativa, Bases do Melhoramento Genético Vegetal e orientando alunos de Mestrado e Doutorado. Em seu Currículo Lattes os termos mais frequentes na contextualização da produção científica, tecnológica e artístico-cultural são: milho, cultivares, híbridos, capacidade de combinação, linhagens, produtividade, estabilidade, *Phaeosphaeria maydis* e dialélico.



**CINTHIA SOUZA RODRIGUES**

Cinthia Souza Rodrigues: Engenheira Agrônoma formada pela Universidade Federal de Sergipe, mestre e doutora em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Lavras. Atualmente é pesquisadora visitante/ Pós doutoranda do Instituto Agronômico.

...

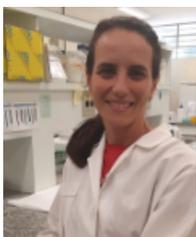
...



**CRISTIANI SANTOS BERNINI**

Engenheira Agrônoma formada pela Universidade Estadual de Minas Gerais, Mestre e Doutora em Agricultura Tropical e Subtropical, área de concentração em Genética, Melhoramento de Plantas e Biotecnologia pelo Instituto Agronômico (IAC). Tem experiência como pesquisadora assistente do Centro de Grãos e Fibras do Instituto Agronômico (IAC) e analista de projetos na APROSOJA (MT), e extensão rural, assistência técnica e agricultura

familiar. Exerceu o cargo de docência na Universidade do Estado do Mato Grosso no curso de bacharelado em Agronomia. Responsável docente pelas disciplinas de Fisiologia de Plantas Cultivadas, Experimentação agrícola e Agroecologia. Atua na área de agronomia, com ênfase em fitotecnia, fitossanidade, agricultura orgânica, melhoramento genético vegetal e genética quantitativa.



**PAULA DE SOUZA GUIMARÃES**

Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF (2005). Mestrado (2007) e Doutorado (2013) em Agricultura Tropical e Subtropical, área de concentração em Genética Vegetal, Melhoramento e Biotecnologia, pelo Instituto Agronômico de Campinas - IAC. Experiência em Genética Molecular Vegetal e em Genética Quantitativa, atuando principalmente nos seguintes temas: Carica

papaya L., *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., marcadores moleculares, capacidade de combinação, heterose, produtividade, seleção recorrente recíproca e tolerância à seca em milho.