

## PARTE 1

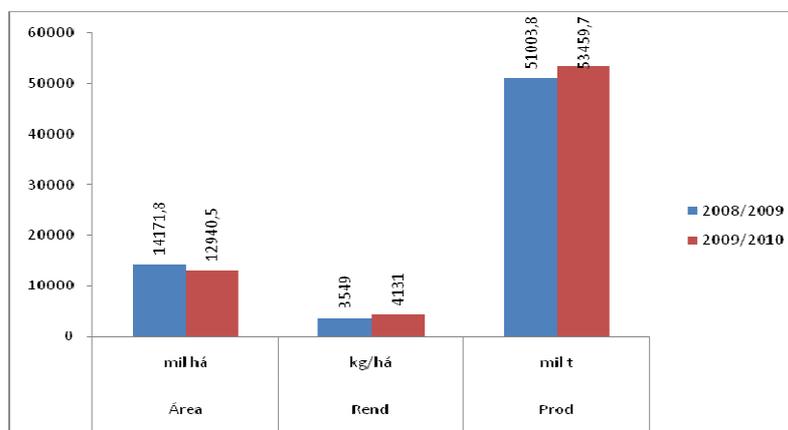
### FENOTIPAGEM EM MILHO PARA TOLERÂNCIA À SECA E AO CALOR NA REGIÃO MEIO-NORTE DO BRASIL\*

Milton José Cardoso<sup>1</sup>

\* Palestra apresentada no painel Seca e Calor e seus Impactos na Produção de Milho e Sorgo, durante o XXVIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO – Goiânia, GO. 29/08 a 02/09/2010.

<sup>1</sup> Eng. Agrôn., D.Sc., pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 01, CEP 64.006-220 Teresina, Piauí, Brasil. E-mail: [miltoncardoso@cpamn.embrapa.br](mailto:miltoncardoso@cpamn.embrapa.br)

Em todo o Brasil a cultura do milho tem sua importância sócioeconômica entre as culturas de grãos pelo seu destaque tanto na alimentação humana como animal. Anualmente são plantados cerca de 13 milhões de hectares com um rendimento médio de grãos em torno de 4,13 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 1).



**Figura 1.** Área, rendimento de grãos e produção de milho no Brasil nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

O Nordeste do Brasil, com uma área total de 1.561.177 km<sup>2</sup>, é dividido em quatro sub-regiões: Meio-Norte, Sertão, Agreste e Zona da Mata, as quais são caracterizadas a seguir, segundo o IBGE) (Figura 2):

Meio-Norte: é uma faixa de transição entre a Amazônia e o Sertão, abrange os estados do Maranhão e Piauí, também é chamada de Mata dos Cocais, devido às palmeiras de babaçu e carnaúba, no litoral chove cerca de 2.000 mm anuais, indo mais para o leste e/ou para o interior, esse número cai para 1.500 mm anuais. No sul do Piauí, uma região mais parecida com o sertão, só chove 700 mm por ano, em média.

Sertão: localizado, geralmente, no interior do Nordeste, possui clima semiárido. Em estados como Ceará e Rio Grande do Norte, chega a alcançar o litoral, descendo mais ao sul, o Sertão alcança o Norte de Minas Gerais, no Sudeste. As chuvas são irregulares e escassas, existem constantes períodos de estiagem. A vegetação típica é a Caatinga.

Agreste: zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, localizado no alto do planalto da Borborema (serra da Borborema ou serra das Russas – região montanhosa), é um obstáculo natural para a chegada das chuvas ao sertão, se estendendo do sul da Bahia até o Rio Grande do Norte. O principal acidente geográfico da região é o planalto da Borborema. Do lado leste do planalto estão as terras mais úmidas (Zona da Mata); do outro lado, para o interior, o clima vai ficando cada vez mais seco (sertão).

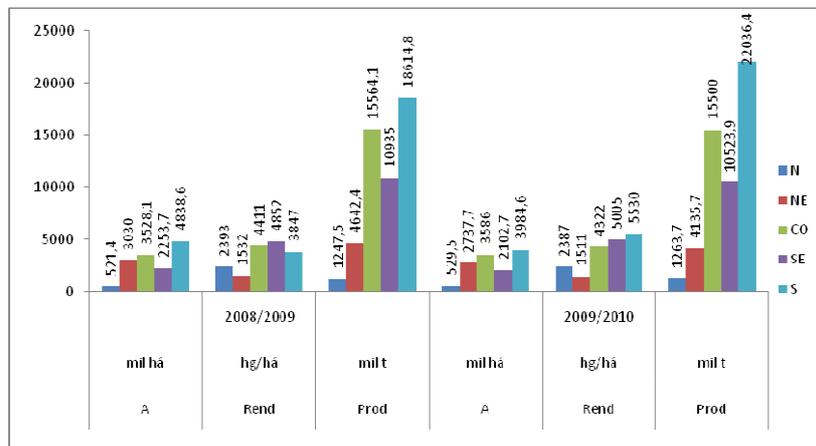
Zona da Mata: localizada ao leste, entre o planalto da Borborema e a costa, se estende do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia. As chuvas são abundantes. A zona da mata recebeu este nome por ter sido coberta pela Mata Atlântica.



**Figura 2.** Sub-regiões e estados localizados no Nordeste brasileiro. 1) Meio-Norte, 2) Agreste, 3) Sertão e 4) Zona da Mata.

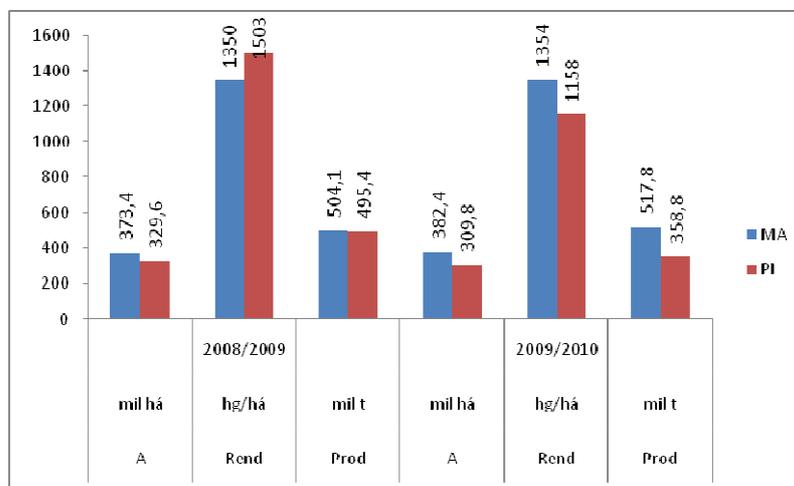
Na região Nordeste são plantados anualmente, aproximadamente, dois milhões e setecentos mil hectares de milho com um rendimento médio de grãos de  $1,51 \text{ Mg ha}^{-1}$ , bastante baixo quando comparado aos rendimentos médios obtidos no Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (Figura 3). Esse baixo rendimento está relacionado, no geral, aos sistemas de produção praticados em cada região, bem como a fatores edafoclimáticos como

solos de baixa fertilidade e a distribuição de chuvas irregulares associados muitas das vezes a altas temperaturas e baixa umidade de ar.



**Figura 3.** Área, rendimento de grãos e produção de milho por região no Brasil nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

No Meio-Norte brasileiro o milho também tem destaque, pois anualmente são semeados cerca de 692 mil hectares com um rendimento médio de grãos de 1,27 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 4).



**Figura 4.** Área, rendimento de grãos e produção de milho por região no Brasil nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

Considerando as estações do ano no hemisfério sul (verão, outono, inverno e primavera), somente duas são observadas na região Meio-Norte, conhecidas popularmente como “inverno” (dezembro a maio - período chuvoso) e “verão” (junho a novembro - período seco) onde, dependendo da região de cada estado, as chuvas têm início em outubro, dezembro ou fevereiro. Semelhante a todos os estados do Nordeste brasileiro, as chuvas são

irregulares e são frequentes as estiagens conhecidas como “veranicos”, onde são mais agravantes em anos de “*El Niño*” (aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical Central e do Leste), conhecidos também como “seca verde”, pois as chuvas são intensas em um curto espaço de tempo sem ocorrer precipitação em um longo período. No Brasil apresentam sinais consistentes de *El Niño* as regiões Nordeste, Amazônia (tendência para secas) e Sul (mais chuvas). As outras regiões não apresentam sinal claro de impactos na chuva, porém durante o *El Niño* todo o país tende a apresentar temperaturas atmosféricas mais elevadas, seja no verão ou no inverno. A região Sul apresenta os impactos do *El Niño* desde o inverno e primavera do ano anterior ao pico do fenômeno (que acontece no verão), e apresenta tendência às secas ou menos chuvas durante *La Niña* (esfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical Central e do Leste), no inverno e primavera. É claro que secas e enchentes podem também ter outras causas, além do *El Niño* ou *La Niña*.

Se isso ocorrer na fase crítica (florescimento) de uma lavoura de sequeiro como, por exemplo, milho, soja, arroz de terras altas, feijão-caupi, as consequências no rendimento final da cultura são drásticas. Nesses anos, além das estiagens frequentes ocorrem também períodos de altas temperaturas diurnas e noturnas ( $> 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) onde aumentam mais os efeitos deletérios sobre o desenvolvimento e crescimento das plantas, pois ficam submetidas ao estresse hídrico e a altas temperaturas. O milho é extremamente sensível à deficiência hídrica durante a fase vegetativa, e se ocorrer na fase de florescimento e enchimento de grãos haverá redução de rendimento de grãos. Isso está relacionado à diminuição na expansão foliar; na redução do aproveitamento dos nutrientes do solo e na redução da área fotossintetizante das plantas. A pressão do estresse na planta fica mais agressiva quando além da deficiência hídrica ocorre ao mesmo tempo o estresse de altas temperaturas, contribuindo ainda mais para a redução da taxa fotossintética líquida, devido ao aumento da taxa da respiração o que vai afetar diretamente o rendimento final. A elevação das temperaturas no período noturno aumenta o consumo energético da planta em função do aumento da respiração celular, o que provoca menor saldo de fotoassimilados, proporcionando menor rendimento da cultura. O ciclo da planta é reduzido acentuadamente quando submetida à temperatura elevada. O estresse provocado pelas altas temperaturas, seja transitório ou contínuo, já afeta algumas regiões onde se pratica agricultura, inclusive no Brasil. Por meio da transferência entre indivíduos de características que garantem termotolerância, acredita-se ser possível superar o estresse térmico. O estresse por altas temperaturas pode ocorrer em diferentes fases de desenvolvimento da planta, desde a germinação ao enchimento de grãos, o que alimenta o desafio para a pesquisa de controlar essa característica.

O aquecimento global está afetando os ecossistemas, causando a destruição ou a degradação do *habitat* e a perda permanente da produtividade, ameaçando tanto a biodiversidade como o bem-estar da humanidade. O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) enfatiza que, até o ano 2100, a taxa média global aumentará de  $1,60\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  – taxa de aquecimento de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  por década. No Brasil, valores mais elevados da taxa de aquecimento serão na Floresta Amazônica e as menores na região Sudeste, junto à Costa da Mata Atlântica. As regiões tropicais e subtropicais, ou de baixas latitudes, serão as mais afetadas pelas mudanças climáticas, em longo prazo, conforme previsão dos modelos climáticos.

As mudanças climáticas, no que diz respeito ao aquecimento global, poderão ter forte efeito na produção agrícola nacional, onde alternativas que controlem e/ou mitiguem esses efeitos são necessários como, por exemplo, a diminuição de emissão dos gases do

efeito estufa (CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O etc.), a mitigação e o aumento de pesquisas nas áreas de fitomelhoramento e agrobiotecnologia.

No caso do milho, em cenários otimistas e pessimistas futuros, será a terceira cultura mais prejudicada no país em termos de valor de produção com o aquecimento global. Com o aumento da temperatura, espera-se que a quantidade de graus-dias seja atingida mais rapidamente, encurtando o ciclo da planta. O Agreste nordestino, atualmente responsável pela maior parte da produção regional de milho, sofrerá uma forte redução da área de baixo risco para a cultura, assim como o sul do Maranhão, o sul do Piauí, o oeste da Bahia e o Centro-Oeste do país. Uma das principais fontes alimentares para aves, suínos e bovinos, o milho chegará a 2020 com uma área favorável 12 % menor nos dois cenários, número que sobe para 15 % em 2050 e 17 % em 2070. Tomando como base a produção de 42,6 milhões de toneladas, que teve como valor R\$ 9,9 bilhões, segundo números de 2006 do IBGE, o aquecimento deve provocar uma queda em torno de R\$ 1,2 bilhão no valor da produção em 2020. O prejuízo pode passar a cerca de R\$ 1,5 bilhão em 2050, chegando a R\$ 1,7 bilhão em 2070.

Para o Meio-Norte brasileiro, no caso específico do milho, a Embrapa Meio-Norte, em parceria com a Embrapa Milho e Sorgo, vem executando trabalho desde 2006 voltados à fenotipagem para tolerância à seca e a altas temperaturas onde alguns resultados mostram o comportamento de genótipos de milho em situações contrastantes. Ressalta-se que no ano de 2002 trabalhos conduzidos em sistema de plantio convencional, sob regime de sequeiro, no município de Bom Jesus, PI, onde os ensaios sofreram deficiência hídrica em vários estádios, mostram genótipos altamente sensíveis ao estresse e outros tolerantes. Neste mesmo ano, em outros municípios localizados em Baixa Grande do Ribeiro, PI, e São Raimundo das Mangabeiras, MA, trabalhos cultivados em sistema de plantio direto mostram pouca influência da deficiência hídrica no rendimento de grãos, proporcionada pelos efeitos do benefício da prática do plantio direto e pelo aumento do teor da matéria orgânica do solo, o que favorece a retenção de umidade e o teor de nutrientes para as plantas.

Resultados de trabalhos executados, durante os meses de setembro a dezembro de 2008, no sítio de fenotipagem em Teresina, PI, também mostram genótipos de milho com características para tolerância à seca (Tabelas 1 e 2). Os componentes de rendimento número de espiga por área, peso de espiga por área, número de grãos por área e peso de cem grãos foram os mais afetados pela deficiência hídrica aplicados durante as fases de florescimento e início de enchimento de espigas. A redução no rendimento de grãos devido à deficiência hídrica foi de 75,7 %.

**Tabela 1.** Valores médios do número de espigas (NE), peso de espigas (PE), relação grão espiga (Gr/Es), número de grãos (NGr), peso de 100 grãos (P 100g) e de produtividade grãos (PG) de seis genótipos de milho sob deficiência hídrica. Teresina, PI, 2008<sup>(1)</sup>

Genótipos	NE (m <sup>2</sup> )	PE (g/m <sup>2</sup> )	Gr/Es (%)	NGr(m <sup>2</sup> )	P 100g (g)	PG (kg ha <sup>-1</sup> )
6626-5 x 6626-19	3,3 a	361 ab	63 a	800 a	29,4 bc	2.289 a
6618-13 x 6618-18	3,2 a	380 a	59 ab	654 ab	32,1 b	2.283 a
6620-56 x 6620-57	2,3 b	305 ab	56 ab	618 abc	27,7 c	1.720 ab
6619 LPS C7 F2	2,5 ab	319 ab	50 b	585 abc	27,1 c	1.620 ab
6620-3 x 6620-15	2,3 b	276 ab	54 ab	516 bc	29,5 bc	1.507 b
6618-3 x 6618-14	2,3 b	252 b	52 b	386 c	34,1 a	1.342 b

<b>Média</b>	2,6	316	56	593	30,1	1.794
<b>CV (%)</b>	11,62	13,95	6,64	14,45	3,77	14,35

<sup>(n)</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

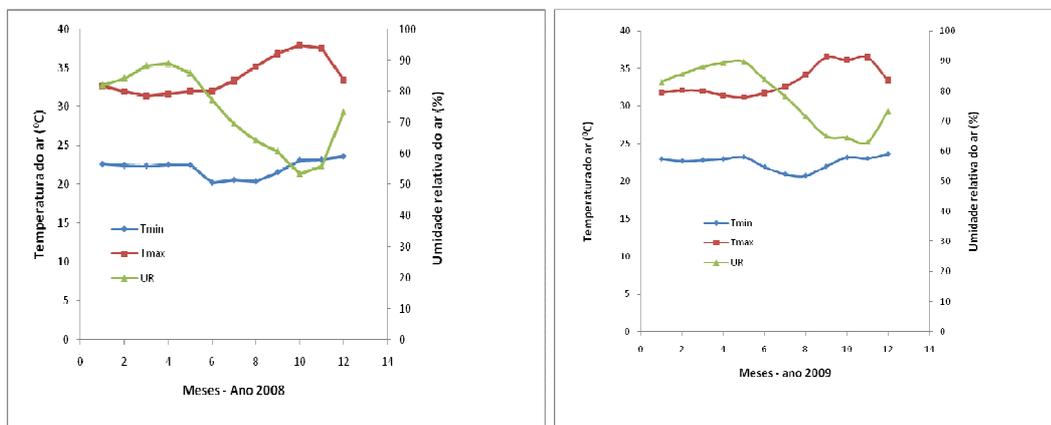
**Tabela 2.** Valores médios do número de espigas(NE), peso de espigas(PE), Relação grão espiga (Gr/Es), Número de Grãos (NGr), peso de 100 grãos (P 100gr) e de produtividade grãos(PG) de 6 genótipos de milho, sob Irrigação plena. Teresina, PI, 2008<sup>(1)</sup>.

<b>Genótipos</b>	<b>NE (m<sup>2</sup>)</b>	<b>PE (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Gr/Es (%)</b>	<b>NGr(m<sup>2</sup>)</b>	<b>P100gr (g)</b>	<b>PG (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
6618-13 x 6618-18	6,6 a	1.154a	79 a	2.682 a	34,3 b	9.110 a
6626-5 x 6626-19	6,4 a	1.042 ab	75 ab	2.250 ab	34,6 b	7.893 b
6619 LPS C7 F2	7,1 a	921 bc	78 a	2.165 b	33,5 bc	7.207 b
6620-3 x 6620-15	6,4 a	1.009 ab	70 b	2.171 b	31,4 bc	7.077 bc
6618-3 x 6618-14	6,9 a	970 bc	72 ab	2.203 ab	38,4 a	7.075 bc
6620-56 x 6620-57	5,3 a	807 c	73 ab	2.053 b	30,8 c	5.927 c
<b>Média</b>	6,4	984	74	2.254	33,8	7.381
<b>CV (%)</b>	13,98	6,45	3,06	8,25	3,55	5,84

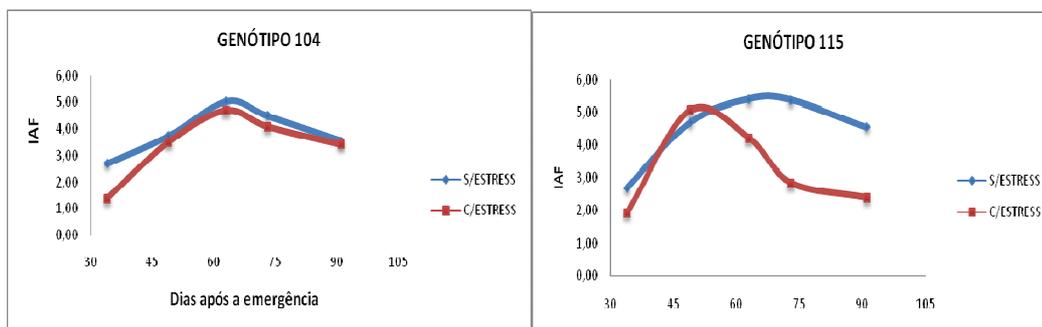
<sup>(1)</sup> Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Em outro estudo, no mesmo período, no ano de 2009, no mesmo sítio, com 36 híbridos comerciais, sendo oito testemunhas, a amplitude de variação para o rendimento de grãos foi de 1.157 kg ha<sup>-1</sup> a 7.946 kg ha<sup>-1</sup>, com média geral do ensaio de 3.718 kg ha<sup>-1</sup>. Dezesete híbridos produziram acima dessa média com destaque para os híbridos DKB 390, 2 B 707, BRS 1001, BRS 1040, BRS 2020 e BRS 1031 com rendimentos de grãos acima de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. (Tabela 3). Os componentes de rendimentos, números de grãos por área, número de espiga por área, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira e peso de cem grãos foram os mais afetados pela deficiência hídrica. A deficiência hídrica aplicada foi moderada no período de pré-florescimento a início de enchimento de espiga (em média 70 % do nível de esgotamento de água no solo). Provavelmente, o aumento do intervalo entre as fases do pendoamento e espigamento, bem como a redução da taxa fotossintética tenham favorecido para o abortamento de pólen, além de serem agravados por fatores climáticos como altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar (Figuras 5, 6 e 7), afetando assim os componentes de rendimento com consequente redução no rendimento de grãos. Neste trabalho, foi possível identificar materiais com características para tolerância à seca o que certamente servirão de informações para trabalhos voltados para o fitomelhoramento, bem como para a agrobiotecnologia. Trabalhos têm mostrado que a deficiência hídrica aumenta a temperatura foliar e reduz a condutância estomática, a transpiração, o potencial de água nas folhas e o rendimento de grãos.

Outros trabalhos, na região, estão sendo desenvolvidos, como é o caso do Zoneamento de Risco Climático para os Estados do Piauí e Maranhão, com objetivo de mostrar uma definição das épocas de semeaduras através do balanço hídrico do solo, o que contribui para reduzir o risco climático causado pela distribuição irregular das chuvas.



**Figura 5.** Temperaturas médias mínimas e máximas do ar e umidade relativa média do ar mensais durante os anos de 2008 e 2009 obtidas em estações meteorológicas próximas aos campos experimentais do sítio de fenotipagem no município de Teresina, PI.



**Figura 6.** Índice de área foliar de dois genótipos de milho com e sem deficiência hídrica. Estresse durante vinte dias com início uma semana antes do pendoamento e término após o início da fase de enchimento das espigas. Teresina, 2009.

As respostas fisiológicas para tolerância à seca podem variar de acordo com a severidade e a duração de imposição do estresse, o estágio fenológico e o material genético. Com relação ao estágio fenológico, o milho é particularmente muito sensível no estágio de florescimento. Seca durante este período leva a um aumento no intervalo entre o florescimento masculino e o feminino, que é negativamente correlacionado com o rendimento.



**Figura 7.** Ensaio de fenotipagem para tolerância à seca em milho. DAP: número de dias após o plantio. Teresina, PI, 2009. Fotos de Milton José Cardoso.

Neste sentido, é bom ressaltar que a temperatura e o regime de distribuição da água são as principais variáveis do clima que terão impacto na agricultura global devido às mudanças climáticas. Nesse caso, o fitomelhoramento é de grande importância na adaptação das culturas às condições de estresse, que poderão ocorrer em maior intensidade em cenários futuros.

A Embrapa, em cooperação com o governo japonês, está testando uma nova variedade de soja que recebeu, por meio da agrobiotecnologia, um gene que lhe dá maior capacidade de tolerar períodos mais secos extraído da primeira espécie de planta a ter o genoma sequenciado, denominada *Arabidopsis thaliana*. É uma planta herbácea da família das *Brassicaceae*, a que também pertence à mostarda. É um dos organismos modelo para o estudo de genética, em botânica, tendo um papel semelhante ao da drosófila, noutros tipos de pesquisa genética. As pesquisas ainda estão em andamento para avaliar o desempenho em condições de campo e possíveis impactos no ambiente, antes de ser liberada para uso comercial.

**Tabela 3.** Rendimento de grãos e componentes de rendimentos de 36 híbridos comerciais de milho sob deficiência hídrica. Teresina, Piauí, 2009.

Híbrido	TIP	RGHA	NGM <sup>2</sup>	PGM <sup>2</sup>	NFE	G1FIL	NEM <sup>2</sup>
DKB 390	HS	7.946 a	2.791 a	795 a	17,40 a	32,8 a	5,52 a
2B 707	HS	6.826 b	2.542 a	683 b	17,35 a	35,15 a	6,56 b
BRS 1001	HS	5.799 c	1.989 b	580 c	13,65 c	28,1 a	4,58 c
BRS 1040	HS	5.791 c	1.791 b	579 c	14,15 c	31,6 a	5,00 c
BRS 2020	HD	5.286 c	1.908 b	529 c	13,93 c	33,75 a	4,90 c
BRS 1031	HS	5.270 c	1.839 b	527 c	13,0 d	30,40 a	5,10 c
3740 109	HT	4.941 c	1.662 b	494 c	13,94 c	22,33 c	4,69 c
CIMMYT 6618	HS	4.875 c	1.764 b	488 c	14,15 c	23,85 b	4,17 d
1F6405	HS	4.857 c	1.745 b	486 c	15,45 b	28,85 a	5,52 b
AG 9040	HS	4.629 c	1.716 b	463 d	16,30 b	26,48 b	4,63 c
BRS 1035	HS	4.500 c	1.586 b	450 d	12,25 d	27,45 a	4,11 d
3740129	HT	4.285 c	1.560 b	429 d	13,53 d	26,23 b	3,89 d
CIMMYT 6626	HS	4.104 c	1.477 b	410 d	12,25 d	28,90 a	4,72 c
BRS 3061	HT	4.017 c	1.371 c	401 d	13,67 c	26,45 b	4,17 d
3E528-5	HT	4.010 c	1.308 c	401 d	13,05 d	24,67 b	4,00 d
2F633-5	HD	3.783 e	1.339 c	378 e	13,00 d	21,82 c	5,23 c
BRS 306	HT	3.782 e	1.267 c	378 e	13,37 d	18,78 c	3,53 d
BRS 3035	HT	3.531 e	1.193 c	353 e	13,50 d	26,15 b	4,27 c
BR 201	HD	3.483 e	1.169 c	348 e	13,80 c	30,95 a	3,36 d
BRS 1030	HS	3.477 e	1.172 c	348 e	13,10 d	24,85 b	3,84 d
BRS 1010	HS	3.241 e	1.062 c	324 e	14,30 c	21,53 c	4,05 d
BRS 3150	HT	3.230 e	1.134 c	323 e	14,60 c	22,12 c	2,71 e
BR 206	HD	3.089 e	1.114 c	309 e	16,34 b	33,15 a	3,91 d
AS 1567	HS	3.032 e	1.084 c	303 e	14,50	26,40 b	3,34 d
P 30F35	HS	2.961 e	1.065 c	296 e	16,09 b	25,66 b	3,85 d
5780280	HS	2.865 e	969 c	287 e	14,43 c	22,45 c	4,03 d
BRS 3035	HT	2.829 e	1.068 c	283 e	13,93 c	20,15 c	3,54 d
5780235	HS	2.694 e	967 c	269 e	15,25 b	21,85 c	4,33 c
BRS 2022	HD	2.428 f	877 d	243 f	14,40 d	19,99 c	3,13 e
5780287	HS	2.268 f	768 d	227 f	13,40 d	25,40 b	3,71 d
BRS3003	HT	2.259 f	731 d	226 f	12,70 d	21,65 c	3,69 d
DKB 330	HS	1.944 f	727 d	194 f	14,51 c	21,70 c	3,08 e
2B710	HS	1.769 f	656 d	177 f	16,60 a	23,68 b	2,66 e
BRS 2223	HD	1.540 f	514 d	154 f	13,22 d	26,84 b	2,08 e
BR 2114	HD	1.346 f	506 d	135 f	13,45 d	24,27 b	2,50 e
BR 205	HD	1.157 f	381 d	116 f	14,53 c	30,97 a	2,38 e
<b>Média</b>		3.718	1.300	372	14,3	26,0	4,02
<b>CV%</b>		18,4	20,2	18,4	6,3	15,3	13,5
<b>Teste-F</b>		**	**	**	**	**	**

HD: híbrido duplo; HT: híbrido triplo; HS: híbrido simples; RGHA: Rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>); NGM2: número de grãos por m<sup>2</sup>; PGM2: peso de grãos por m<sup>2</sup>; NFE: número de fileiras de grãos por espiga; G1FIL: número de grãos por fileira e NEM2: número de espiga por m<sup>2</sup>. \*\* Significativo ao nível de 5% pelo teste F. Na coluna média seguidas da mesma letra são iguais ao nível de 5% pelo teste de Scott-Knott.

Deve ser enfatizado que as soluções não estão só voltadas para a tolerância à seca e a altas temperaturas, mas devem ser alertadas para as mudanças climáticas, de um modo geral, e seus efeitos sobre o planeta, pois não se pode ignorar essa situação. Sivakumar, M.V.K., diretor da Organização Meteorológica Mundial (OMM), que é indiano, alertou para as mudanças climáticas e seus efeitos sobre o planeta. Cita o exemplo de seu país, onde a temperatura já atinge mais de 40 °C em certas épocas do ano e em uma década pode passar dos 50 °C como consequência do aquecimento global. Enfatiza que a dificuldade

para manter a oferta de alimentos é uma ameaça real e já não pode ser contestada, e que a emissão de gases e o aquecimento global, na última década, alcançaram níveis nunca registrados.

No caso do Brasil, o IPCC simulou cenários agrícolas futuros para aumentos de temperatura de 1,0 °C, 3,0 °C e 5,8 °C e de precipitação de 5 %, 10 % e 15 %. Esses aumentos foram simulados de maneira homogênea para todo o país e desconsideraram qualquer evolução tecnológica, tanto no manejo das culturas quanto no seu melhoramento genético, e qualquer adaptação fisiológica das plantas às novas condições. Os resultados dessa simulação para as culturas da soja, milho, arroz e feijão, no caso do cenário de aumento de 1,0 °C a partir de 1990 e o cenário de 3,0 °C que é praticamente certo. As estimativas para esse último cenário mostram perdas de área em torno de 18 % para o arroz, 11 % para o feijão, 39 % para a soja, 58 % para o café e 7 % para o milho. Embora as condições iniciais dessa simulação desconsiderem questões importantes, esses cenários já nos dão indicações essenciais ao planejamento das pesquisas, principalmente quanto à adaptação dos sistemas de cultivos e de novas cultivares mais tolerantes às altas temperaturas e mais resistentes à seca.

Uma das consequências do aquecimento global é a alteração do desenvolvimento e do crescimento das plantas, que leva à aceleração do processo de maturidade fisiológica das plantas, com redução do rendimento. Essa é uma ameaça real diante da necessidade de se produzir alimentos para cerca de nove bilhões de pessoas em todo o mundo, nos próximos anos. Ressalta-se também para a gravidade da perspectiva quanto à disponibilidade futura de água no mundo, pois, aproximadamente, um terço da população já está sujeita à escassez.

### **Literatura Consultada**

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FIGUREDO JÚNIOR, L. G. M.; MOUSINHO, F. E. P.; CARDOSO, M. J.; LEAL, C. M. *Modelo para estimativa de produtividade da cultura do milho no estado do Piauí*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 73p. (Documentos/Embrapa Meio-Norte, 157)

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. O. da. *Zoneamento de risco climático para a cultura do milho no estado do Piauí*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008b, 25 p. (Documentos/ Embrapa Meio-Norte, 170)

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. O. da. *Zoneamento de risco climático para a cultura do milho no estado do Maranhão*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008a, 23 p. (Documentos/ Embrapa Meio-Norte, 169)

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. O. *Zoneamento de risco climático para as culturas de milho e feijão-caupi consorciados no Estado do Piauí*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 34p.. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 199)

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO, J. J.; MARIN, F.; PELLEGRINO, G. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. *Plenarium*, v.5, n.5, p.96-117, out., 2008 (<http://bd.camara.gov.br>)

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. *Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira*. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária / UNICAMP, 2008.

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, E. M. Rendimento de grãos secos de cultivares de milho relacionado a estresse hídrico no sudoeste piauiense. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, Goiânia, 2003. Resumos Expandidos...* Goiânia: SBEA/UFGO, 2003. CD ROM

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*, New York, v. 86, p. 83-145, 2005.

EDMEADES, G. O.; BOLANOS, J.; ELINGE, A.; RIBAUT, J. M.; BÄNZIGER, M.; WESTGATE, M. E. The role and regulation of the anthesis-silking interval in maize. In: WESTGATE, M. E.; BOOTE, K. J. (Ed.). *Physiology and modeling Kernel set in Maize*. Madison: CSSA, 2000. p. 43-73. (CSSA Special Publication, 29).

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. da. *Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos*. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavouras da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 2005. 51p.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAS, E. D.; MARTIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. *Revista Multiciência*, Campinas, Ed. n. 8, p.139-162, 2007.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.

SILVA, E. M. da; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; NASCIMENTO, S. P. do. Produtividade de grãos de genótipos de milho sob irrigação plena e deficiência hídrica em Teresina-PI. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 38, Juazeiro da Bahia, 2009. Resumos Expandidos: SBEA/Embrapa Semi-Árido/UFBA/UFPE*, 2009. CD