

**CELSO HENRIQUE MOREIRA COELHO**

**MODIFICAÇÕES FISIOLÓGICAS E GENÉTICAS EM CICLOS DE  
SELEÇÃO NO CULTIVAR BRS 4154 TOLERANTE AO  
ENCHARCAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C672m  
de  
2004

Coelho, Celso Henrique Moreira, 1979-  
Modificações fisiológicas e genéticas em ciclos  
seleção no cultivar BRS 4154 tolerante ao encharcamento  
/ Celso Henrique Moreira Coelho. – Viçosa : UFV, 2004.

x, 40f. : il. ; 29cm.

Orientador: Aluízio Borém  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.

Inclui apêndice  
Referências bibliográficas: f. 31-37

1. Milho - Melhoramento genético. 2. Milho - Seleção.  
3. Tolerância a inundação. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 633.1523

**CELSO HENRIQUE MOREIRA COELHO**

**MODIFICAÇÕES FISIOLÓGICAS E GENÉTICAS EM CICLOS DE SELEÇÃO  
NO CULTIVAR BRS 4154 TOLERANTE AO ENCHARCAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 06 de dezembro de 2004

---

Julio César Lima Neves  
(Conselheiro)

---

Múcio Silva Reis  
(Conselheiro)

---

Paulo César Magalhães

---

Elto Eugênio Gomes e Gama

---

Alúzio Borém de Oliveira  
(Orientador)

*Aos meus pais*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por sempre ter iluminado meu caminho;  
à Universidade Federal de Viçosa – UFV, pelo curso oferecido;  
à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo;  
ao pesquisador Paulo César Magalhães pela orientação, pela paciência e pela compreensão ao longo desta etapa;  
ao meu Avô José Coelho e avó Olímpia Coelho por tudo que me ensinaram;  
ao pesquisador Elto Gama e meus conselheiros, pela amizade e pela colaboração;  
a Embrapa Milho e Sorgo pela cedência de equipamentos quando da falta em nosso laboratório;  
aos meus pais, pela vida e pelo incentivo;  
a minha namorada Silvane Vestena, pelo amor e pela compreensão;  
aos colegas André Fernando, Márcio, Eduardo (Juninho), Uberlando (Pará), Aldo e amigos do Laboratório da Embrapa Milho e Sorgo com carinho àqueles com quem convivi ao longo deste trabalho;  
a todos os funcionários e professores do Departamento de Fitotecnia;  
ao Prof. Aluizio Borém, pela amizade e pela colaboração;  
enfim, a todos que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho.

Recebam meus sinceros agradecimentos

## **BIOGRAFIA**

CELSO HENRIQUE MOREIRA COELHO, filho de José Celso Coelho e Maria do Rosário Coelho, nasceu em 05 de julho de 1979, em São José dos Campos, São Paulo.

Ingressou no Curso de Agronomia, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em março de 1998, diplomando-se Agrônomo em fevereiro de 2003.

Em março de 2003, ingressou no Curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), defendendo a tese em dezembro de 2004.

## CONTEÚDO

	<b>Páginas</b>
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Alterações químicas e físicas dos solos com excesso de água.....	4
2.2 Efeito do estresse por excesso de água.....	8
2.3 Mecanismos de tolerância das plantas ao encharcamento.....	10
2.4 Seleção genética de plantas tolerantes ao encharcamento .....	12
3. OBJETIVO .....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
4.1 Delineamento experimental.....	14
4.2 Avaliação das características fisiológicas .....	15
4.3 Avaliação das características genéticas de produção.....	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16

5.1 Avaliação das características fisiológicas.....	16
5.2 Avaliação das características fenológicas e de produção.....	25
6. CONCLUSÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
8. APÊNDICE.....	38



## LISTA DE QUADROS

## Páginas

Quadro 1: Resumo da análise de variância de fluorescência da clorofila (FC), teor de clorofila (TC), área foliar (AF) e porosidade de raiz (PR) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	38
Quadro 2: Resumo da análise de variância do teor de nitrogênio (TN), teor de fósforo (TP), teor de potássio (TK) e teor de cálcio (TCa) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	38
Quadro 3: Resumo da análise de variância do teor de magnésio (TMg), teor de enxofre (TS), teor de ferro (TFe) e do teor de manganês (TMn) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	39
Quadro 4: Resumo da análise de variância do teor de zinco (Tzn), teor de cobre (TCu), altura de planta e espiga dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	39
Quadro 5: Resumo da análise de variância do comprimento de espiga (CE), índice de espiga (IE), número de fileira da espiga (NFE) e número de grãos por fileira (NGF) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	40
Quadro 6: Resumo da análise de variância do número de grãos por planta (NGP), peso de 100 sementes (P100) e peso de grãos (PG) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	40

## LISTA DE TABELAS

## Páginas

Tabela 1: Fluorescência da clorofila (FC) e teor de clorofila, avaliados em dois ambientes, de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade BRS 4154, BR 107 e do híbrido BRS 1010.....	17
Tabela 2: Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e do híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.....	18
Tabela 3: Porosidade de raiz (%) de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes. ....	19
Tabela 4: Teor de nitrogênio (N) e fósforo (P) na parte aérea de Quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.....	21
Tabela 5: Teor de potássio (K) e de cálcio (Ca) na parte aérea de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.....	22
Tabela 6: Teor de magnésio (Mg) e de enxofre (S) na parte aérea de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois .....	22
Tabela 7: Concentração de ferro (Fe) e de manganês na parte aérea de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.....	24
Tabela 8: Concentração de zinco (Zn) e de cobre (Cu) na parte aérea de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.....	25
Tabela 9: Altura de planta (AP) e altura da inserção da espiga (AE) de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154 – Saracura	

variedade, BR 107 e o híbrido simples avaliados em dois ambientes.....	26
Tabela 10: Número de fileira de grãos (NFG) e comprimento da espiga (CE) de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154 – Saracura, variedade BR 107 e o híbrido simples avaliados em dois ambientes.....	27
Tabela 11: índice espiga (IE) e número de grãos (NG) por planta de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154 – Saracura variedade, BR 107 e o híbrido simples avaliados em dois ambientes.....	28
Tabela 12: Peso de 100 sementes (P100) e peso de grãos (PG) de quatro ciclos de seleção (C1, C5, C9 e C15) da variedade de milho BRS 4154 – Saracura, variedade BR 107 e o híbrido simples avaliados em dois ambientes.....	29

## RESUMO

COELHO, Celso Henrique Moreira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2004. **Modificações fisiológicas e genéticas em ciclos de seleção no cultivar BRS 4154 tolerante ao encharcamento.** Orientador: Aluizio Borém de Oliveira. Conselheiros: Julio César Lima Neves e Múcio Silva Reis.

As espécies vegetais cultivadas apresentam ampla variação de comportamento, quando submetidas a condições extremas de ambiente (estresses). O melhoramento genético pode manipular essa variabilidade, visando ao desenvolvimento de variedades tolerantes a condições específicas de estresse. Para isso, é necessária a utilização de metodologia que permita uma avaliação clara dos fatores limitantes e das reações das plantas de milho a elas submetidas. Neste sentido, a Embrapa milho e sorgo (CNPMS), iniciou em 1986, um trabalho de seleção massal em um composto de milho, onde, após 15 ciclos de seleção recorrente foi realizado um experimento com objetivo de avaliar alguns desses ciclos quanto às alterações fisiológicas e os ganhos de seleção obtidos ao longo da seleção. Os materiais utilizados foram: os ciclos 1, 5, 9 e 15 da variedade de milho BRS 4154-Saracura, selecionada para condição de encharcamento intermitente do solo, BR 107 sensível ao encharcamento e o híbrido simples BRS 1010, escolhido por ser bastante cultivado no Brasil. As características fisiológicas avaliadas foram: fluorescência da clorofila, teor de clorofila, área foliar, porosidade de raiz e o teor de macro e micronutrientes. Avaliaram-se também, as características genéticas de produção: altura de planta e da inserção da espiga, número de fileiras de grãos, comprimento da espiga, índice da espiga, peso de 100 sementes, número de grãos por planta e peso de grãos. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com 4 repetições em esquema fatorial. Os resultados permitiram concluir que a porosidade de raiz foi o principal mecanismo de tolerância utilizado pelas plantas de milho em condições de encharcamento. A característica número de grãos por planta foi o componente de produção, no ambiente encharcado, de maior efeito isolado no peso de grãos. Desta forma, a seleção para número de grãos por planta resulta em aumento da produtividade. A seleção no ambiente encharcado proporcionou um ganho no peso de grãos do ciclo 1 para o ciclo 15.

## ABSTRACT

COELHO, Celso Henrique Moreira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, December 2004. **Physiological and genetic changes in recurrent selection of cultivar BRS 4154 tolerant to flooding.** Adviser: Aluizio Borém de Oliveira. Committee Members: Julio César Lima Neves and Múcio Silva Reis.

The crop species present a wide variation of performance when cultivated under extreme conditions (stresses). Plant breeding can manipulate that variability, seeking to the development of tolerant varieties to specific conditions of stress. To accomplish that, it is necessary to use a methodology that allows a clear evaluation of the factors limiting plant development. In this regard, the Embrapa CNPMS, began in 1986, a work of mass selection in a composite variety of corn, where, after 15 cycles of selection an experiment was carried out with objective of evaluating some of those cycles with relationship to the physiological alterations and genetic progress obtained along the cycles. The used materials were: the cycles 1, 5, 9 and 15 of the corn variety BRS 4154-Saracura, selected for condition of intermittent flood of the soil, BR 107 sensitive to flooding and the single hybrid BRS 1010, chosen for being widely cultivated in Brazil. The appraised physiologic characteristics were: fluorescence of chlorophyll, chlorophyll level, leaf area, root porosity and the level of macro and micronutrients. They were also evaluated the traits associated with yield: plant height and of height of the ear of corn, number of rows in the cob, number of grains, length of the ear of corn, ear index, weight of 100 seeds, number of grains per plant and weight of grains. The used experimental design was random blocks with 4 repetitions in factorial outline. The results allowed to conclude that the root porosity was the main mechanism of tolerance to flood present in corn. The trait number of grains per plant was the yield component, in flooded environment, of larger isolated effect in the weight of grains. Therefore, the selection for number of grains per plant results in increase in yield. The selection under flooding provided gain for weight of grains from cycle 1 to cycle 15.

## 1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente, 6% da superfície terrestre estão sujeitos ao alagamento temporário, sendo que no Brasil cerca de 33 milhões de hectares são de várzeas (solos aluviais e hidromórficos), dos quais cerca de 12 milhões estão localizados na região dos Cerrados (Santos, 1999).

Neste sentido, surgiu no país na década de 80 o programa de aproveitamento de terras irrigáveis (PROVARZEAS) um instrumento de política agrícola que objetivou viabilizar esses 33 milhões de hectares de terras férteis e potencialmente produtivas, que somente no Estado de Minas Gerais, abrange cerca de 500 mil hectares (Frota et al., 1982). Este programa visava além de outros benefícios sócio-econômicos para o agricultor, a implementação do aumento de áreas plantadas com a cultura do arroz. No entanto, estas estratégias de aproveitamento dos recursos disponíveis, muitas vezes são usadas de forma primitiva ou simplesmente não aproveitadas e, portanto, ocasionando degradações irreversíveis ao meio ambiente. O aproveitamento racional destas áreas vem sendo gradualmente incrementado, gerando aumentos e ingressos de agricultores e com isto, promovendo a expansão da fronteira agrícola dentro da área tradicional de exploração agropecuária das propriedades rurais.

A cultura do milho, cujo produto serve de insumo principal a diversos setores produtivos, aliado ao fato da sua tolerância aos herbicidas que controlam o capim-arroz (*Echinochloa* spp) principal planta concorrente das lavouras arroteiras, poderá constituir-se numa opção de utilização das áreas de várzeas, seja em sucessão com o arroz ou como cultura de verão nas áreas menos sujeitas ao encharcamento, bastando,

para tanto, identificar genótipos adaptados a ambientes mal drenados, que, complementados de práticas culturais adequadas, sejam capazes de reduzir os riscos da produção agrícola nesse agroecossistema.

Várzeas são consideradas os solos aluviais e, ou hidromórficos, os quais são freqüentemente ricos em matéria orgânica, facilmente irrigável e de fertilidade geralmente elevada devido à deposição de sedimentos trazidos pelas águas de rios e chuvas. Estas áreas podem ser temporariamente inundadas por cursos d'água muitas vezes próximos, excesso de chuvas, deficiência de drenagem, elevação do nível do lençol freático, infiltração de canais de irrigação, etc (Lopes, et al. 1988). Todavia, apesar dessas áreas possuírem em geral alta fertilidade, estão sujeitas a períodos intermitentes de encharcamento, pelos fatores citados anteriormente e, desta forma, a resistência difusiva da maioria dos gases é aproximadamente 10 mil vezes maior que a do ar e, pelo ambiente estabelecido há uma competição pelo consumo do oxigênio remanescente pela respiração das plantas e dos microorganismos, criando assim, condições de hipoxia ou de anoxia (Armstrong et al.,1994).

Nessa condição, o metabolismo celular é desviado para a via anaeróbica, a qual apresenta inconveniente, como menor rendimento de energia e a geração de produtos finais considerados tóxicos para a célula, como, por exemplo, etanol e acetaldeído. A ligeira acidificação do citoplasma, em decorrência da presença do lactato e elevada extrusão de  $H^+$ , devido ao funcionamento precário das ATPases-transportadoras do tonoplasto, também tem sido observada como causa determinante da morte celular por anoxia (Drew, 1997).

Em geral, plantas tolerantes a essas condições de estresses possuem consideráveis reservas acompanhadas de eficiente utilização de carboidratos (Efeito Pasteur) e contínua reoxidação do NADH, de forma que seja mantida uma produção de ATP satisfatória, capaz de garantir a funcionalidade das ATPases e a manutenção do pH próximo à normalidade (Alves et al., 2000; Summers et al., 2000). As espécies cultivadas, à exceção do arroz, são suscetíveis aos efeitos estressantes do encharcamento, com diferentes níveis de sensibilidade. Esta sensibilidade varia geralmente com a fase do ciclo vegetativo, a duração do encharcamento e com a

presença de fatores provocados pela anaerobiose, influenciando o desenvolvimento das plantas (Silva, 1984).

No caso do milho, um fator limitante ao desenvolvimento de variedades é a ausência de conhecimento de mecanismos de tolerância ou resistência. Essa variação na tolerância, especificamente em milho, tem sido descrita por alguns autores como Wu et al. (1987), Carangal (1988), Kanwar & Sial (1988), Atwell (1995) e Parentoni et al. (1995). Adicionalmente, Lemke-Keyes & Sachs (1989), citam a linhagem B73Ht cultivado no Estado de Illinois/USA, que consegue sobreviver normalmente sob estresse anaeróbico por um período de três dias.

No Brasil, preocupados com esse problema e explorando as conhecidas variações de tolerância às condições de inundação por espécie de plantas, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS/Embrapa), no ano de 1986, iniciou a formação de um composto de milho de ampla base genética por meio da recombinação de 36 populações. Para o desenvolvimento desse material foi e continua sendo utilizado o método de seleção recorrente fenotípica estratificada modificada. Cerca de 300 melhores espigas vem sendo selecionadas por ciclo. Uma mistura balanceada de sementes é plantada em uma área de tabuleiro e submetida ao encharcamento por inundação para se obter cada novo ciclo de seleção. Uma exceção neste processo ocorreu no ciclo 5, em que o composto avaliado sob encharcamento foi irrigado por aspersão (em vez do processo tradicional de inundação), com 200 progênies de meio irmãos selecionadas do ciclo 4 usando-se dois látices 10x10. Com base nessa avaliação foram selecionadas 24 progênies de meios irmãos as quais foram recombinadas em um talhão isolado com encharcamento por inundação. Após 12 anos de estudos, ou seja, no décimo segundo ciclo de seleção, este material foi lançado comercialmente sob a sigla BRS 4154, milho “Saracura”. Todo o trabalho de melhoramento dessa variedade foi direcionado para dotá-la de capacidade para suportar períodos temporários de encharcamento do solo, característica que as cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes de milho do Brasil normalmente não possuem. O nome Saracura é uma referência à ave comumente encontrada em terrenos alagadiços. Os ciclos de seleção continuam sendo realizados anualmente e hoje se encontra no 16<sup>o</sup> (décimo sexto).



Apesar da reconhecida tolerância do milho “Saracura” ao encharcamento temporário, há necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a estrutura genética e as características ecofisiológicas dessa variedade, no sentido de melhor compreender as variações ocorridas ao longo dos ciclos de seleção. Com isso, espera-se que sejam elucidados possíveis mecanismos e genes ou regiões genômicas envolvidos no processo de tolerância.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Alterações químicas e físicas dos solos com excesso de água**

Segundo Ponnampertuma (1972), quando um solo é inundado, suas reservas de oxigênio podem reduzir-se a zero em menos de um dia. A taxa de difusão de oxigênio atmosférico é 10 mil vezes mais lenta em função da camada líquida, pela substituição do ar pela água no interior dos poros. Os microrganismos anaeróbicos e aeróbicos facultativos se multiplicam rapidamente e aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica usando componentes oxidados do solo no lugar do oxigênio como receptores de elétrons. Dentro de poucas horas, os organismos aeróbios consomem o oxigênio na água ou aprisionado no solo, ficando este praticamente isento de oxigênio molecular. Como resultado o solo passa de estado oxidado para reduzido (Sanchez, 1981).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por ser trinta vezes mais hidrossolúvel que o oxigênio, tem distribuição uniforme em solos encharcados. No entanto, a maioria das plantas cultivadas não toleram elevadas doses de CO<sub>2</sub> e o limite de tolerância varia com a espécie e com o nível de oxigênio presente no solo (Silva, 1984). Esse balanço

entre oxigênio e dióxido de carbono é determinante para sobrevivência dos vegetais superiores, da fauna edáfica e dos microrganismos aeróbios (Rowell, 1981).

As concentrações médias de nitrogênio, oxigênio e dióxido de carbono na atmosfera, são respectivamente: 79,01%, 20,96% e 0,03%, enquanto no solo, as percentagens de oxigênio e dióxido de carbono dependem da atividade microbiana, da profundidade do solo e da difusibilidade (Forsythe, 1967). Sob condições normais, as concentrações de oxigênio são menores que as de dióxido de carbono na fase gasosa dos solos em relação ao ar atmosférico (Rowell, 1981). Os valores dos coeficientes de difusão do oxigênio e dióxido de carbono no ar estão entre 0,1 e 0,2  $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ ; porém na água, esses coeficientes diminuem para valores em torno de  $10^{-5}\text{cm}^2\text{s}^{-1}$  (Wild, 1981). Desta forma, o ambiente se torna deficiente em oxigênio.

De acordo com Patrick Jr. & Mahapatra (1968), os solos inundados não constituem um ambiente completamente anóxico. A baixa taxa de renovação de oxigênio, através de água de inundação, embora seja insuficiente para manter a demanda dos organismos do solo, é suficiente para manter oxidada uma fina camada na superfície. A espessura dessa camada superficial oxidada é determinada pelo balanço entre a taxa de suprimento do oxigênio, podendo variar de aproximadamente 1,0 milímetro até vários centímetros. Estes autores concluíram que a taxa de consumo do oxigênio depende basicamente da temperatura e do teor de matéria orgânica decomponível no solo, enquanto que o suprimento de oxigênio depende da espessura da lâmina d'água, da temperatura e da permeabilidade do solo.

A anaerobiose reduz o potencial de óxido-redução do solo, sendo este, uma variável útil para medir a intensidade de redução do solo e, para identificar as reações que ali ocorrem e são predominantes. Inicialmente os nitratos se tornam instáveis a valores de potencial de óxido-redução entre +400 e +300 mV e se denitrificam. Após a perda dos nitratos, os microrganismos anaeróbios reduzem os compostos de  $\text{Mn}^{4+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$  quando os valores de potencial de óxido-redução estão próximos de +200 mV. Diminuindo o potencial de óxido-redução para cerca de +120 mV ocorre a redução de  $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$ , sendo esta, a mais importante reação de redução em solos encharcados, dado que, os compostos de ferro geralmente são mais abundantes no solo. Vários ácidos orgânicos, como o pirúvico e o lático, são reduzidos a álcoois

quando o valor de potencial de óxido-redução é de aproximadamente +180 mV. Adicionalmente, íons sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ) são reduzidos a  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{S}^{2-}$  por bactérias dos gêneros *Desulfovibrio* e *Desulfomaculum* quando o potencial de óxido-redução se aproxima de +150 mV, além de outras reações de redução ocorrerem em solos mais intensamente reduzidos, porém, a valores de potencial de óxido-redução que não se encontram sequer em solos cultivados com arroz inundado (Ponnamperuma, 1972 e Sánchez, 1981).

A mais importante alteração química em solos encharcados é a redução de ferro acompanhada do aumento de sua solubilidade (Sánchez, 1981). De 5 a 50% dos óxidos de ferro presentes no solo podem ser reduzidos em poucas semanas de submergência, dependendo da temperatura, da quantidade de matéria orgânica e do grau de cristalização dos óxidos (Ponnamperuma, 1972). Uma concentração alta de ferro pode remover consideráveis quantidades de íons  $\text{NH}_4^+$  dos sítios de troca catiônica e, gerando com isso, significativas perdas por lixiviação (Patrick Jr. & Mahapatra, 1968).

No que concerne ao manganês (Mn), há evidências de toxicidade em condições de inundação para cultivo do arroz. O crítico para este elemento se dá principalmente em condições de drenagem do solo de várzeas, pois a intensidade e a velocidade da reoxidação do solo após a drenagem poderão não ser suficiente para evitar a toxicidade desse e outros elementos. Também, no caso específico do Mn, merece atenção especial, uma vez que seu potencial de óxido-redução é maior que o do ferro (Ponnamperuma, 1972) e por isso está sujeito a oscilações, em decorrência de variações periódicas no teor de água no solo e no arejamento.

A concentração do fósforo (P) na solução do solo aumenta com anaerobiose. Isto ocorre devido à redução de fosfatos férricos a formas mais solúveis. A hidrólise de fosfatos de ferro e alumínio em solos ácidos pela elevação do pH produz a liberação de fósforo fixado, dissolução de formas oxidadas de fosfatos, aumento da mineralização de P orgânico devido ao aumento de pH em solos ácidos, aumento da apatita em solos calcáreos e aumento de difusão de íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  em um volume maior de solução do solo (Ponnamperuma, 1972; Sanchez, 1981;).

O pH, na maioria dos solos, tende à neutralidade depois do encharcamento, em virtude do tamponamento do mesmo por substâncias produzidas pelas reações de redução. O efeito geral de submersão é o aumento do pH em solos ácidos e diminuição em solos alcalinos (Ponnamperuma, 1972; Moraes & Freire, 1974).

Como as mudanças no pH são controladas pela redução de compostos do solo e pela produção de CO<sub>2</sub> e ácidos orgânicos, a sua intensidade de variação do pH é dependente do pH inicial do solo, da quantidade e natureza dos compostos orgânicos presentes e do teor e grau de cristalinidade dos óxidos de ferro. Quando um solo ácido é inundado pela primeira vez, o pH aumenta lentamente e, após várias semanas de inundação atinge valores entre 6,0 e 7,0. No segundo cultivo, o pH do solo aumenta mais rapidamente (Leon & Arregocés, 1981).

O fator temperatura é de muita importância na determinação da extensão dos danos provocados por uma aeração deficiente. As plantas suportam baixas concentrações de oxigênio por tempo maior se a temperatura também se mantém baixa. Com a elevação da temperatura, as exigências de oxigênio aumentam e os sintomas de deficiência manifestam-se rapidamente (Bergman, 1959; Letey et al., 1962; Slatyer, 1970).

Para a maioria dos campos de cultivo, as necessidades de aeração provavelmente não variam muito. Contudo, para diferentes espécies, há diferentes necessidades de aeração. Além disso, a necessidade de oxigênio varia com o estágio de desenvolvimento da planta e, geralmente, aumenta com a temperatura (Williamson, 1964).

Períodos de inundação de 10 a 15 dias, com 15 a 17° C de temperatura no solo, em experimentos de campo ou em vasos, não influenciaram o rendimento de grãos em trigo, conforme relatado por Luxmoore et al. (1973). Entretanto, longos períodos de inundação de 20 a 30 dias reduziram o rendimento de 15 a 23%, com a mesma temperatura do solo (15 – 17 °C, reduziram até 73%, quando a temperatura do solo aumentava para 25° C. O decréscimo de rendimento esteve associado com um menor peso médio dos grãos (Luxmoore et al. 1973).

Uma inundação por 48 horas a uma temperatura de 25° C foi mais prejudicial à emergência da semente de milho e subsequente desenvolvimento da plântula em

estudos laboratoriais e de campo do que uma inundação com temperatura de 10° C (Fausey & McDonald Jr., 1985).

A exploração de áreas alagadas com espécies de importância econômica depende da identificação não somente de plantas que sobrevivam à inundação do solo, mas também entender os possíveis mecanismos envolvidos na busca de plantas mais tolerantes.

## **2.2. Efeito do estresse por excesso de água**

Sob algumas circunstâncias, os tecidos vegetais podem ser submetidos a concentrações baixas (hipóxica) ou zero (anóxica) de oxigênio ambiente, forçando-as realizar o metabolismo fermentativo. Os exemplos mais bem estudados diz respeito a solos alagados ou saturados, nos quais a difusão de oxigênio é suficientemente reduzida, de modo a tornar os tecidos radiculares hipóxicos. Alguns vegetais, particularmente as árvores, têm uma distribuição geográfica restrita, devido à necessidade de manterem um suprimento de oxigênio as raízes (Taiz & Zeiger, 2003). No milho, a resposta inicial à baixa concentração de oxigênio é a fermentação do ácido láctico, mas a resposta subsequente é a fermentação alcoólica.

Limitação no conteúdo de oxigênio é denominada estresse primário em plantas sob encharcamento e, alguns dos danos diretos são: clorose, murcha de folhas e aparecimento de raízes adventícias, conforme observado em gramíneas por Platzeck (1989), sendo seguido pela deficiência mineral, decréscimo na disponibilidade e absorção do nitrogênio do solo, aumento de compostos tóxicos no solo, tais como metano, íons ferrosos de etileno ou manganês, aumento de organismos causadores de doenças, desbalanceamento hormonal e divisões metabólicas (Jackson & Drew, 1984).

O encharcamento pode causar estresse oxidativo o qual é resultante de efeitos deletérios de espécies de oxigênio reduzido, tais como, radicais de superóxido ( $O_2^-$ ), hidroxila ( $OH^-$ ), além de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e oxigênio singleto ( $^1O_2$ ). Os sintomas de danos oxidativos não tem sido facilmente detectados. Eles incluem

peroxidação de lipídios de membrana, desnaturação de proteínas e danos aos ácidos nucléicos (Bor et al., 2003).

Outro estresse causado pelo alagamento é ação inibitória na fase bioquímica da fotossíntese. Sabendo-se que o fotossistema II (PSII) é responsável pelo fornecimento de energia para a fotossíntese, a avaliação de sua eficiência pode tornar-se um indicador de danos, em plantas sob alagamento. Este monitoramento pode ser obtido pela fluorescência da clorofila (Schreiber et al., 1997). A fluorescência da clorofila pode ser utilizada na avaliação de danos causado pelo estresse hídrico. A principal característica utilizada para avaliação destes danos no sistema fotossintético é a razão  $F_v/F_m$ , indicando a eficiência do fotossistema II, sendo  $F_v$  a fluorescência variável e  $F_m$  a fluorescência máxima (Ferrer, 2003).

Ferrer (2003) utilizando análise da fluorescência em plantas de milho sob alagamento observou redução na fluorescência chegando a valores de 0,637. Já Livramento et al. (2001) estudando o efeito do estresse de oxigênio sobre a fotossíntese, tomando como base a relação  $F_v/F_m$  verificaram, que apesar do encharcamento do solo diminuir essa característica para 0,74, não houve danos ao fotossistema II das plantas cultivadas sob encharcamento. Entretanto, segundo Bolhar – Nordenkampf et al., (1989), valores de fluorescência abaixo de 0,75 são considerados como limite para ocorrer danos ao fotossistema II.

Outra alteração ocasionada pelo excesso de água está relacionada às folhas e, desta forma pode interferir na sua área. Ferrer (2003), trabalhando com milho sob encharcamento, observou uma redução na área foliar em torno de duas vezes, quando comparado às plantas cultivadas em condições normais. Neste sentido, a área foliar pode ser um indicativo de estresse por excesso de água nas plantas de milho.

De uma maneira geral, um problema a ser enfrentado com a adaptação de culturas em solos alagados, é o fato de que a maior parte das culturas produtoras de grãos não são adaptadas às condições de anoxia e hipoxia do solo (Pires et al., 2002), o que torna necessário estudo dos mecanismos das espécies em questão para tolerância a esse tipo de estresse.

### 2.3. Mecanismos de tolerância das plantas ao encharcamento

Em ambientes com excesso de água no solo ocorre um estresse pelo decréscimo da concentração de oxigênio no meio (Jackson & Drew, 1984), acarretando uma série de distúrbios no metabolismo das plantas que se manifestam por meio de alterações no crescimento e desenvolvimento (Crane & Davies, 1988). Essas alterações são expressas em genes que levam, em alguns casos, a um ajustamento metabólico, anatômico ou morfológico, que permite às plantas sobreviverem por períodos de tempo mais prolongado nessa condição desfavorável (Drew, 1997). Como essas alterações são reguladas ao nível de transcrição e tradução, as baixas disponibilidades de oxigênio induzem à expressão dos genes que codificam para os polipeptídeos conhecidos como anaeróbicos (ANPs), tal como a enzima álcool desidrogenase (ADH) (Sachs e Freeling, 1978). Dentre os ANPs, destaca-se a ADH no aumento da tolerância de plantas de milho a anoxia (Hole et al., 1992). Ainda, segundo Van Toai (1995), as enzimas piruvato descarboxilase e álcool desidrogenase, apesar de produzirem uma certa quantidade de energia, nestas condições provocam a formação de acetaldeído e etanol que são tóxicos aos tecidos vegetais. No entanto, Taiz & Zeiger (2003) acreditam que o etanol seja um produto final menos tóxico da fermentação, pois ele se difunde para fora da célula, enquanto que o lactato acumula-se e promove a acidificação do citossol.

Outra importante modificação é o aparecimento de aerênquima, que foi denominado por Esau (1976) e Appezzato-da-Glória & Carmello-Guerreiro (2003) como parênquima caracterizado por espaços intercelulares amplos, de origem esquizógena (pela separação da parede celular ao longo da lamela média), lisígena (pela dissolução das células) e rexígena (pela separação das células). A formação dos aerênquimas, associada ou não com as lenticelas, permite a difusão do oxigênio da parte aérea até o sistema radicular, levando a aeração ao meio intracelular das raízes, ainda que este órgão permaneça em um meio deficiente em oxigênio (Drew, 1997). Este tipo de adaptação tem prolongado a sobrevivência das plantas, principalmente aquelas de rápido crescimento, como o arroz (Kende et al., 1998), *Echinochloa*

*phylopogon* (Fox et al., 1994) e *Lotus sp* (Crawford & James, 1998), em ambientes alagados.

A formação de aerênquimas tem sido extensivamente estudada em plantas com raízes submersas. Drew et al. (1979), He et al. (1996) e Drew (1997), observaram que a condição de hipoxia induziu a produção de etileno, que atuando como um mensageiro secundário, provocaria a formação de aerênquimas. A produção de etileno, também, parece estar associado ao murchamento das folhas, aparecimento de raízes adventícias e senescência das folhas (Bradford & Yang, 1981).

Magalhães et al. (2000) relatam que a porosidade de raízes parece ser o principal mecanismo utilizado pelas plantas de milho quando em condições de encharcamento. Adicionalmente, Parentoni et al. (1995), trabalhando com seleção para tolerância ao encharcamento em sucessivos ciclos de seleção de um composto de milho, concluíram que a tolerância ao encharcamento do ciclo mais avançado (ciclo 4), foi também atribuída ao aumento da porosidade de raiz. Também, Jensen et al. (1967), afirmam que a eficiência do transporte de oxigênio da parte aérea para raiz do arroz é quatro vezes maior que para o milho e, tal fato é explicado pela maior porosidade da raiz.

Outra importante adaptação é o aparecimento de raízes adventícias que, por sua vez, permite a manutenção de uma atividade metabólica oxidativa na região mais superficial do sistema radicular, uma vez que esta camada apresenta-se com níveis mais elevados de oxigênio (Pezeshki et al., 1996).

O encharcamento também causa um aumento nas formas de oxigênio, causando danos oxidativo para a planta, podendo resultar na ativação de mecanismos de defesas e reparos que, podem prevenir a ocorrência desses danos (Bor et al., 2003). Desta forma, pode-se entender a diferença fundamental entre plantas sensíveis e resistentes ao estresse oxidativo. Plantas resistentes têm a capacidade de reduzir os efeitos deletérios dos radicais livres produzidos durante esse estresse, pois podem aumentar a síntese de compostos orgânicos antioxidantes altamente eficientes de natureza enzimática tais como: superóxido dismutase; glutathione redutase; deidroascorbato redutase; monodeidroascorbato redutase; ascorbato peroxidase, entre outros; e não – enzimáticos -  $\alpha$ -tocoferol;  $\beta$ -caroteno, compostos fenólicos e



flavonóides. Alguns estudos têm demonstrado que o encharcamento aumenta a atividade de algumas enzimas do estresse oxidativo (Bor et al., 2003).

A tolerância à baixa disponibilidade de oxigênio pode também estar relacionadas com a utilização de vias alternativas, com produtos finais menos prejudiciais à sobrevivência das células do que o etanol, tais como malato, aspartato, piruvato, succinato, alanina, serina e outros (Vartapetian & Jackson, 1997).

Diante da presente situação, a busca ou desenvolvimento de materiais através do melhoramento genético mais tolerante às condições de encharcamento do solo, é uma alternativa bastante promissora.

#### **2.4. Seleção genética de plantas tolerantes ao encharcamento**

As espécies vegetais cultivadas apresentam ampla variabilidade, quando submetidas a condições extremas de variação de ambiente (estresses). O melhoramento genético pode manipular essa variabilidade, visando o desenvolvimento de germoplasma resistente a condições específicas de estresse. Para isso, é necessária a utilização de metodologia que permita uma avaliação adequada dos fatores limitantes e das reações das plantas a eles submetidas (Porto, 1995).

Referindo-se ao estabelecimento de bases para a seleção de cultivares tolerantes ao encharcamento, Krizek (1982), numa extensa revisão sobre reação de plantas a stresses causados por encharcamento, relatou como sendo dois os critérios utilizados: como a planta sobrevive e cresce em condições reais de encharcamento e na resposta à inundação nas condições experimentalmente controladas. Ainda cita, que as principais considerações deveriam ser o crescimento pós-estresse e o tempo de recuperação das plantas. Krizek (1982), citando Coutts & Armstrong (1976), acrescenta que a tolerância diferencial às inundações é determinada pela medição da capacidade da raiz penetrar em solos inundados e tolerar as substâncias químicas produzidas nesse tipo de ambiente; pela medição do sistema de transporte de oxigênio da planta e, pela realização de testes bioquímicos em tecidos de plantas selecionadas.

E para obter progresso, o melhorista de plantas deve saber quais características importantes devem ser preservadas e melhoradas.

Parentoni et al. (1995) utilizaram os seguintes critérios de seleção das plantas de milho em condições de encharcamento: a) plantas que se mantêm mais verde por cerca de 20 dias após a polinização; b) plantas que não apresentam esterilidade masculina; c) plantas com espigas mais bem granadas e d) plantas que se mantêm de pé por ocasião da colheita.

Lopes et al. (1988) consideram que as pesquisas conduzidas a campo, para determinação de tolerância à deficiência de oxigênio no solo são necessárias, mas de difícil execução, já que existem fatores nas relações solo-água-clima-plantas, que não podem ser quantificados, nem controlados adequadamente. Por isso, métodos de *screening*, em condições artificialmente controladas, são utilizados como ferramentas auxiliares no melhoramento genético para tolerância ao encharcamento.

Porto (1995), utilizando o “método dos copos”, na busca de genótipos de milho tolerantes ao excesso de umidade, concluiu que é possível simular as condições de solo saturado de umidade e, que esse método é adequado para o *screening* de plantas jovens de milho. No entanto, Barreto (1995), avaliando progênies de plantas de milho sob condições de encharcamento, observou a existência de correlações positivas e negativas muito fracas entre os caracteres do experimento conduzido em casa de vegetação com os experimentos realizados a campo. Assim, concluiu naquele estudo, que a seleção em casa de vegetação não seria adequada. Lemkes-Keyes et al. (1989), relatam que é de grande importância a busca de genótipos para tolerância ao encharcamento com uma seleção criteriosa e mapeamento de genes associado a este tipo de estresse em germoplasma de milho.

### **3. OBJETIVO**

Em face do que foi abordado, o presente trabalho teve como objetivo avaliar plantas de milho dos diferentes ciclos de seleção recorrente da variedade de milho BRS 4154 – “Saracura” quanto às alterações nas características fisiológicas e quanto aos ganhos genéticos obtidos ao longo dos ciclos de seleção sob encharcamento do solo.

### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 Delineamento experimental**

Este estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, MG, com altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude Oeste 44°15', em solo de várzea.

Oito dos 15 ciclos de seleção da variedade de milho BRS 4154 foram plantados (ciclos 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15) sob delineamento em blocos casualizados no qual foram avaliados os ciclos 1, 5, 9 e 15, incluindo a variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010 como testemunhas, por serem sensíveis ao encharcamento. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida com 6 tratamentos e quatro repetições em condições com irrigação de suplementação e com estresse submetido por encharcamento. O encharcamento foi realizado até atingir uma lâmina de 20 cm no tabuleiro três vezes por semana, iniciado no estágio V6, antes do florescimento e permaneceu até a maturação fisiológica.

Com a finalidade de facilitar o encharcamento, a área foi nivelada e dividida em talhões. A parcela experimental foi formada por 4 fileiras de 4 m, e o espaçamento de 0,90 m e 0,20 m entre fileiras e entre plantas na fileira, perfazendo uma área total de 14,4 m<sup>2</sup>. Um número maior de sementes foi plantado e o estande foi

mantido em 80 plantas por parcela após o desbaste. As duas fileiras centrais foram usadas para a coleta de dados.

#### **4.2. Avaliação das características fisiológicas**

As características fisiológicas avaliadas foram: i) fluorescência da clorofila e teor de clorofila obtidas pelo PEA II e Spad, respectivamente. Ambos os dados foram obtidos de três plantas escolhida ao acaso de cada genótipo e repetição na linha e tomados em dois pontos da folha acima da primeira espiga de cada planta (Ferrer, 2003); ii) área foliar obtida pelo determinador de área LI-3100; iii) teor de nutrientes na parte aérea e; iv) porosidade da raiz (Jensen et al., 1969). As determinações fisiológicas foram realizadas 75 dias após o plantio, que correspondem ao estágio de grão leitoso.

#### **4.3. Avaliação das características de produção**

Por ocasião da colheita os dados avaliados foram: altura de planta e da inserção da espiga, número de plantas quebradas e acamadas, índice de espiga, comprimento da espiga, peso da espiga, número de fileiras da espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por planta, peso de grãos corrigidos, peso de 100 sementes corrigidas. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Os resumos das análises de variância encontram-se no apêndice deste trabalho.

## **5. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **5.1. Avaliação das características fisiológicas**

No caso do milho, há um consenso de que características baseadas na morfologia e fisiologia de plantas são os melhores critérios para avaliação da tolerância às condições de encharcamento do solo (Parentoni et al., 1995).

Para fluorescência da clorofila, não houve diferenças entre ambientes e genótipos e, todos os valores nas duas situações ficaram iguais ou acima de 0,75 (Tabela 1), que é o índice considerado como limite para ocorrer alguns danos no fotossistema II (Bolhar-Nordenkamp, 1989). Entretanto, Ferrer et al. (2003), trabalhando com a variedade de milho saracura em casa de vegetação, sob condições de encharcamento, encontraram diminuição na eficiência do fotossistema II, com uma redução de até 17% quando comparado as plantas cultivadas sob condições normais. Lembrando que as condições de casa de vegetação são diferentes e não podem ser extrapoladas para condições de campo.

No entanto, apesar da técnica de fluorescência da clorofila ter sido muito utilizada em estudos de ecofisiologia das plantas, em razão do desenvolvimento de equipamentos portáteis de medição – os fluorômetros, a teoria envolvida é complexa e a interpretação dos dados é ainda controversa em alguns casos (Machado, 2003).

Com relação aos teores de clorofila, não houve diferenças entre genótipos, no entanto, para ambiente foi observado uma redução nos valores do teor de clorofila para todos os genótipos quando submetidos ao encharcamento com exceção do BR 107 (Tabela 1), indicando desta forma, que sob este tipo de estresse a cultura do milho apresenta uma aceleração na senescência das folhas.

Segundo Carvalho et al. (2002), a diminuição do teor de clorofila, que pode ser constatada pela clorose das folhas é consequência da inundação das raízes e, ainda esses autores afirmam que este é um dos sinais mais freqüentes citados nas observações empíricas. Este distúrbio, também observado em outras espécies, pode ser atribuído a vários fatores, tais como o acúmulo de substâncias tóxicas, disfunção hormonal levando à senescência, ou mesmo carência de nutrientes (Kozlowski, 1997).

**Tabela 1.** Médias para fluorescência da clorofila (FC) e teor de clorofila (%), avaliados em dois ambientes, de quatro ciclos (C 1, C 5, C 9 e C 15) de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura e duas testemunhas.

Genótipos	FC		Clorofila (%)	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	0,77 Aa	0,77 Aa	59,83 Aa	54,80 Ab
C 5	0,76 Aa	0,77 Aa	58,58 Aa	50,93 Ab
C 9	0,75 Aa	0,77 Aa	57,44 Aa	50,14 Ab
C 15	0,77 Aa	0,77 Aa	61,17 Aa	53,10 Ab
BR 107	0,75 Aa	0,78 Aa	60,27 Aa	56,64 Aa
BRS 1010	0,78 Aa	0,78 Aa	63,25 Aa	53,58 Ab
C V (%)	3,07	1,68	4,52	7,87

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

No caso da área foliar, não foi revelada diferença estatística significativa entre os genótipos avaliados no ambiente normal (Tabela 2). Já no ambiente encharcado, registrou-se, para genótipos, uma redução dessa variável com os avanços dos ciclos de seleção, havendo uma diminuição de 33% do ciclo 15 em relação ao ciclo 1. Com relação ao dois tipos de ambientes, com exceção das duas testemunhas (BR 107 e BRS 1010), ocorreu redução para todos os materiais. Ferrer (2003) trabalhando com o ciclo 14 do saracura observou redução da área foliar de 31% das plantas cultivadas sob alagamento em relação ao cultivo normal, o que está em acordo com os resultados deste trabalho.

Em geral, o efeito do encharcamento promove uma diminuição da absorção de água, tanto pela redução do comprimento e superfície total das raízes, como conseqüência da sua morte, como pelo aumento da resistência ao fluxo de água (Kozlowski, 1997). Estes fenômenos fazem com que plantas submetidas ao alagamento estejam sujeitas ao murchamento das folhas, caso não possuam bom controle estomático e baixa transpiração cuticular (Carvalho et al., 2002). Neste sentido, a diminuição da área foliar parece ser uma plasticidade da planta de milho para adaptação às condições de encharcamento do solo. Assim, a área foliar pode ser uma importante característica de avaliação para seleção de plantas de milho sob condições de encharcamento do solo.

**Tabela 2.** Médias para área foliar (cm<sup>2</sup>) de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.

Genótipos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	
	Ambientes	
	Normal	Encharcado
C 1	6976 Aa	6757 ABa
C 5	6343 Aa	5347 BCa
C 9	7313 Aa	4956 Cb
C 15	6692 Aa	4503 Cb
BR 107	5875 Aa	6013 ABCa
BRS 1010	7194 Aa	7199 Aa
C V (%)	11,41	13,34

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, minúscula nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Plantas de arroz e de algumas outras espécies apresentam um bom desenvolvimento sob condição de inundação, através de um suplemento de oxigênio devido à aeração interna resultante de um aumento no espaço aéreo das raízes (Luxmoore & Stolzy, 1969). O milho geralmente é considerado como susceptível ao encharcamento do solo, apesar do desenvolvimento de espaços gasosos, em algumas variedades sob inundação, ter sido também observado (Luxmoore et al., 1970).

Os resultados de porosidade de raiz dos seis genótipos avaliados nos dois ambientes, encontram-se na tabela 3. Observa-se que, no ambiente normal, não houve diferença entre os

genótipos. Sob a condição encharcada de cultivo, a seleção proporcionou um aumento do ciclo 1 para o ciclo 15 de praticamente 100%. É importante também notar o acréscimo dos ciclos 5, 9 e 15 entre ambientes, que foram respectivamente, 72, 64 e 89%. Resultados semelhantes demonstrando a importância da porosidade de raiz em cultivares de milho para tolerância ao encharcamento do solo foram encontrados por Barreto (1995) e Ferrer (2003). Magalhães et al. (2000) enfatizam que a porosidade de raiz parece ser o principal mecanismo utilizado pelas plantas de milho em condições de encharcamento. Assim, a tolerância ao encharcamento dos ciclos avançados de seleção do Saracura utilizado no presente estudo foi também em parte atribuída ao aumento da porosidade de raiz. O que vale ressaltar, que a presença de aerênquima no milho parece ser induzido em função dos valores de porosidade de raiz observados na condição normal de cultivo e não constitutivo como no açaí (*Euterpe oleracea*), onde Menezes Neto (1994), observou a formação de aerênquima mesmo em condições normais de aeração.

**Tabela 3.** Médias para porosidade de raiz (%) de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes.

Genótipos	Porosidade de raiz (%)	
	Ambientes	
	Normal	Encharcado
C 1	4,62 Aa	4,37 CDa
C 5	3,70 Ab	6,38 ABCa
C 9	4,66 Ab	7,66 ABa
C 15	4,48 Ab	8,47 Aa
BR 107	4,11 Ab	5,60 BCDa
BRS 1010	4,77 Aa	3,63 Da
C V (%)	14,71	17,76

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O encharcamento tem um acentuado efeito sobre o comportamento de muitos nutrientes importantes à planta. Alguns têm sua disponibilidade aumentada ao passo que outros estão sujeitos a maior fixação ou perda como consequência dos processos de oxidação-redução (Barreto, 1995). Por sua vez as alterações na concentração de nutrientes nos tecidos



vegetais indicam mudanças no padrão metabólico da planta, através da absorção ou da translocação de nutrientes da parte aérea para os grãos (Parentoni et al., 1995).

A concentração de nitrogênio (N) na parte aérea em porcentagem encontra-se na tabela 4. Verifica-se que não houve diferenças significativas entre genótipos. Enquanto que para ambiente houve diferenças, ocorrendo diminuição na absorção de N (%) para todos os genótipos no ambiente encharcado. As médias individuais fornecidas mostram a extensão dos dados e ilustram a possível variabilidade entre os genótipos para condições de encharcamento. Assim, notou-se (Tabela 4) uma variação de 1,89% a 2,19% no ambiente normal e de 1,45% a 1,74% no ambiente encharcado. Os resultados estão de acordo com os observados por Barreto (1995), onde foi avaliado o teor de N em progênies do Saracura e encontrou valores entre 2,16 e 2,60% no ambiente normal e de 1,63% a 2,08% no ambiente encharcado.

Segundo Parentoni et al. (1995), a redução na absorção de N no ambiente de subemergência é devido a mineralização lenta a partir da matéria orgânica do solo e a perda rápida de nitrato por desnitrificação. É possível que o menor teor de N nos tecidos das plantas sob condições de encharcamento do solo tenha contribuído para o estabelecimento da diferença nos teores de clorofila citados anteriormente.

Para o fósforo (Tabela 4), as concentrações relativas apresentaram variações significativas entre os genótipos somente no ambiente normal. A variação entre os genótipos foi de 0,26 a 0,33% no ambiente normal, e de 0,25 a 0,30% no ambiente encharcado. Barreto (1995), estudando as progênies de milho do Saracura encontrou variações entre 0,19 e 0,26% no ambiente normal e de 0,10 a 0,18% no ambiente encharcado, indicando também menor concentração de fósforo no tecido foliar sob condições de subemergência. No entanto, Parentoni et al. (1990), trabalhando nas condições de várzeas de Minas Gerais com a população do milho saracura, encontraram maiores concentrações de fósforo na parte aérea das plantas em condições encharcadas de cultivo.

**Tabela 4.** Médias para teor de nitrogênio (N) e fósforo (P) na parte aérea, de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes no estágio de grão leitoso.

Genótipos	N (dag kg <sup>-1</sup> )		P (dag kg <sup>-1</sup> )	
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	1,93 Aa	1,74 Aa	0,26 Ba	0,28 Aa
C 5	1,89 Aa	1,45 Ab	0,29 ABa	0,26 Aa
C 9	2,06 Aa	1,60 Ab	0,28 ABa	0,25 Aa
C 15	1,94 Aa	1,62 Aa	0,29 ABa	0,28 Aa
BR 107	2,19 Aa	1,63 Ab	0,33 Aa	0,29 Aa
BRS 1010	2,08 Aa	1,74 Aa	0,29 ABa	0,30 Aa
C V (%)	7,8	17,45	10,65	13,60

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúsculas, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme evidenciado pelos resultados das médias gerais, houve um aumento nas concentrações de potássio (Tabela 5) no ambiente encharcado, inclusive com diferenças significativas pelo teste de Tukey. A amplitude de variação foi de 1,30% até 1,75% entre genótipos no ambiente normal e de 1,32% a 2,51% no ambiente encharcado. De modo geral, houve uma tendência de maior disponibilidade de potássio no ambiente encharcado, que pode ser explicado por um deslocamento desse elemento pelo ferro dos colóides e, por conseguinte aumenta sua concentração na solução do solo na condição de encharcamento do solo (Moraes et al., 1992).

O encharcamento proporcionou diminuição nas concentrações de cálcio na parte aérea das plantas de milho (Tabela 5). As diferenças entre genótipos, para este elemento em ambos os ambientes, foram significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. No entanto, Moraes & Dynia (1992), embora não tenham explicado, detectaram aumentos desse nutriente na solução do solo e na planta de arroz, após a inundação.

**Tabela 5.** Médias para teor de potássio (K) e cálcio (Ca) na parte aérea, de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes no estágio de grão leitoso.

Genótipos	K (dag kg <sup>-1</sup> )		Ca (dag kg <sup>-1</sup> )	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	1,30 Bb	2,11 Aa	0,72 Aa	0,68 Aa
C 5	1,64 ABa	1,59 Ba	0,65 ABa	0,62 ABa
C 9	1,55 ABa	1,62 Ba	0,51 Bb	0,65 Aa
C 15	1,55 ABa	1,32 Ba	0,64 ABa	0,49 Bb
BR 107	1,42 ABa	1,63 Ba	0,64 ABa	0,58 ABa
BRS 1010	1,75 Ab	2,51 Aa	0,69 Aa	0,52 ABb
C V (%)	15,18	20,14	11,16	14,99

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúsculas, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de magnésio e de enxofre não apresentaram alterações significativas nos dois ambientes avaliados (Tabela 6), quando comparados com suas respectivas testemunhas. Ferrer (2003), trabalhando sob as mesmas condições edafoclimáticas e com o ciclo 14 da variedade Saracura, também não encontrou variações significativas em nenhum dos dois ambientes.

**Tabela 6.** Médias para teor de magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea, de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes no estágio de grão leitoso.

Genótipos	Mg (dag kg <sup>-1</sup> )		S (dag kg <sup>-1</sup> )	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	0,13 Aa	0,13 Aa	0,14 Aa	0,13 Aa
C 5	0,14 Aa	0,12 Aa	0,15 Aa	0,13 Aa
C 9	0,13 Aa	0,14 Aa	0,13 Aa	0,14 Aa
C 15	0,14 Aa	0,15 Aa	0,14 Aa	0,12 Aa
BR 107	0,14 Aa	0,14 Aa	0,15 Aa	0,13 Aa
BRS 1010	0,16 Aa	0,14 Aa	0,16 Aa	0,12 Ab
C V (%)	15,07	17,02	13,18	12,10

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em concordância com o que tem acontecido no ambiente encharcado, as concentrações de ferro aumentaram consideravelmente sob encharcamento (Tabela 7), enquanto que estas concentrações na parte aérea entre os genótipos no ambiente normal não apresentaram variações significativas.

No que concerne ao ambiente encharcado, vale ressaltar que as maiores concentrações de ferro foram observadas no híbrido em que não houve seleção para tolerância ao encharcamento e, os teores deste mesmo elemento foram diminuindo com o avanço do ciclo de seleção da variedade BRS 4154, permitindo indicar que existe algum mecanismo de tolerância aos teores tóxicos de ferro na solução do solo. Para Pires et al. (2002), essa diferença de absorção entre os genótipos pode estar relacionada a mecanismos de exclusão de ferro, que provocam a formação de concreções de óxidos de ferro e, no presente caso parece ser a formação de aerênquima.

Com relação ao manganês, diferentemente do que tem acontecido no ambiente sob encharcamento, no presente trabalho foi observado diminuição na concentração na parte aérea de todos os genótipos estudados quando submetidos ao encharcamento (Tabela 7). Esses resultados estão de acordo com os observados por Barreto (1995). De acordo com Pires et al. (2002), os baixos teores de manganês nas folhas se devem ao solo utilizado ser de origem sedimentar, portanto pobre em manganês, bem como pelo efeito competitivo com os altos teores de ferro na solução. Já na condição normal de cultivo as maiores concentrações foram encontradas no híbrido simples BRS 1010 e na variedade BR 107.

**Tabela 7.** Médias para concentração de ferro (Fe) e mangânes (Mn) na parte aérea, de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes no estágio de grão leitoso.

Genótipos	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )		Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	218,24 Ab	505,00 ABa	43,28 Ca	41,56 Aa
C 5	234,21 Ab	367,40 BCa	56,29 BCa	29,39 Ab
C 9	141,38 Ab	275,33 CDa	51,26 BCa	31,72 Ab
C 15	180,06 Aa	202,50 Da	49,88 BCa	28,80 Ab
BR 107	241,06 Ab	476,14 ABa	60,23 Ba	33,54 Ab
BRS 1010	212,63 Ab	547,46 Aa	76,02 Aa	41,17 Ab
C V (%)	30,29	23,13	15,14	13,80

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos mostram tendência de decréscimo nas concentrações de zinco (Zn) (Tabela 8) no ambiente encharcado para todos os genótipos avaliados, embora não tenha ocorrido diferença estatística. Também não houve diferenças estatísticas no ambiente normal. A amplitude de variação foi de 22,31 a 25,28 mg kg<sup>-1</sup> no ambiente normal e de 16,92 a 21 mg kg<sup>-1</sup> no ambiente encharcado de cultivo (tabela 8).

No que diz respeito a concentração de cobre (Tabela 8) na parte aérea houve decréscimo entre ambientes para todos os ciclos de seleção. As diferenças de concentrações de cobre obtidas entre genótipos foram significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de tukey no ambiente normal e não significativas no ambiente encharcado. A amplitude de variação foi de 6,42 a 11 mg kg<sup>-1</sup> no ambiente normal e de 4,86 a 7,97 mg kg<sup>-1</sup> no encharcado.

**Tabela 8.** Médias para concentração de zinco (Zn) e de cobre (Cu) na parte aérea, de quatro ciclos (C) de seleção da variedade de milho BRS 4154, variedade BR 107 e o híbrido simples BRS 1010, avaliados em dois ambientes no estágio de grão leitoso.

Genótipos	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )		Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	22,31 Aa	16,92 Aa	11,00 Aa	4,86 Ab
C 5	22,31 Aa	21,00 Aa	9,33 ABCa	6,22 Aa
C 9	22,60 Aa	18,01 Aa	10,11 ABa	7,97 Aa
C 15	22,60 Aa	15,97 Aa	10,69 Aa	6,22 Aa
BR 107	22,61 Aa	18,81 Aa	6,42 Ca	6,80 Aa
BRS 1010	25,28 Aa	19,18 Aa	7,19 BCa	7,66 Aa
C V (%)	17,36	19,90	18,01	19,67

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## 5.2. Avaliação das características fenológicas e de produção

Os desempenhos médios dos genótipos para altura de planta e da inserção da espiga podem ser observados na Tabela 9. Comprovou-se pelo teste de tukey, ao nível de 5% de probabilidade, diferenças significativas entre os genótipos nos dois ambientes de cultivo.

Altura de planta e da inserção de espiga mostraram decréscimos nos ciclos de seleção 5, 9 e 15 sob condição de encharcamento do solo, demonstrando que a seleção realizada foi efetiva para diminuir a altura de planta e da inserção de espiga e, desta forma, contribui para redução do acamamento o que torna essa variedade mais recomendada para várzeas e, neste estudo, isso é comprovado pela altura das duas testemunhas, onde ocorreu aumento de altura sob encharcamento e com isso são suscetíveis ao acamamento.

**Tabela 9.** Médias para altura de planta (AP) e altura da inserção da espiga (AE), avaliadas em dois ambientes, de quatro ciclos (C 1, C 5, C 9 e C 15) de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura e duas testemunhas.

Genótipos	AP (m)		AE (m)	
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	2,30 ABa	2,45 Aa	1,25 ABb	1,43 Aa
C 5	2,40 Aa	2,40 ABa	1,39 Aa	1,35 ABa
C 9	2,45 Aa	2,43 ABa	1,35 Aa	1,33 ABa
C 15	2,40 Aa	2,18 Bb	1,30 ABa	1,13 Cb
BR 107	2,28 ABb	2,50 Aa	1,25 ABb	1,43 Aa
BRS 1010	2,08 Ba	2,18 Ba	1,08 Ba	1,15 BCa
C V (%)	4,48	5,89	7,93	9,32

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios observados para número de fileira da espiga (NFE) na espiga dos genótipos, nas duas condições de cultivo, são apresentados na Tabela 10. Não foram verificadas diferenças estatísticas entre genótipos e ambientes, embora a seleção proporcionou aumento dessa característica do C 1 para o C 15 sob a condição de encharcamento. E por sua vez espigas com maior número de fileiras, sob condições de estresse, poderiam garantir um maior número de grãos em maior espaço de tempo (Parentoni et al., 1995). Apesar de que tem de levar em consideração a sincronização entre florescimento masculino e feminino.

Para a característica comprimento de espiga (CE) (Tabela 10) não houve diferença significativa entre os materiais, no ambiente encharcado. Entretanto, no ambiente sob irrigação normal, comprovou-se diferença, com maior valor de CE para o híbrido BRS 1010.

**Tabela 10.** Médias para número de fileira da espiga (NFE) e comprimento da espiga (CE), avaliadas em dois ambientes, de quatro ciclos (C 1, C 5, C 9 e C 15) de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura e duas testemunhas.

Genótipos	NFE		CE (cm)	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	16 Aa	14 Aa	15 ABa	14 Aa
C 5	16 Aa	15 Aa	14 Ba	15 Aa
C 9	14 Aa	14 Aa	15 ABa	15 Aa
C 15	16 Aa	16 Aa	15 ABa	15 Aa
BR 107	14 Aa	14 Aa	15 Ba	13 Ab
BRS 1010	14 Aa	16 Aa	17 Aa	15 Ab
C V (%)	5,48	5,53	4,76	8,01

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao índice de espigas (IE) ou prolificidade, as médias registradas dos materiais nas duas condições de cultivo podem ser observadas na Tabela 11. Entre os materiais avaliados sob cultivo normal, a amplitude de variação foi de 1 a 1,23 espigas por planta e sob encharcamento do solo a variação foi de 1 a 1,33 espiga por planta. O resultado está de acordo com Parentoni et al. (1990), que encontraram uma variação de 0,90 a 1,19 sob cultivo de várzeas no Estado de Minas Gerais.

O número de grãos por planta (NG/planta) (Tabela 11) não diferiu entre os materiais em ambos os ambientes. No entanto, vale ressaltar que houve uma tendência de aumento dessa característica com avanço dos ciclos de seleção de 13% de aumento do ciclo 1 para o 15 no ambiente encharcado. Parentoni et al. (1995), trabalhando com os ciclos de seleção do Saracura, observou um aumento de 12% no ambiente encharcado do caráter em questão e, também como no presente caso, relatou uma redução deste componente de produção do ambiente normal para o encharcado.



**Tabela 11.** Médias para índice de espiga (IE) e número de grãos (NG) por planta, avaliados em dois ambientes, de quatro ciclos (C 1, C 5, C 9 e C 15) de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura e duas testemunhas.

Genótipos	IE		NG/planta	
	Ambientes			
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	1,00 Aa	1,03 Aa	500 Aa	465 Aa
C 5	1,23 Aa	1,00 Aa	646 Aa	503 Ab
C 9	1,23 Aa	1,10 Aa	613 Aa	503 Ab
C 15	1,13 Aa	1,08 Aa	608 Aa	533 Ab
BR 107	1,10 Aa	1,03 Aa	534 Aa	422 Ab
BRS 1010	1,08 Aa	1,33 Aa	564 Aa	481 Aa
C V (%)	9,78	10,96	13,87	10,78

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para peso de 100 sementes (Tabela 12), houve diferença significativa, para efeito de genótipos, apenas no cultivo normal, sendo que o maior valor foi obtido para o híbrido e o menor para o BR 107. Verificou-se nesta condição de cultivo, uma amplitude de variação de 29,94 a 36,69 gramas e de 26,37 a 31,6 gramas no ambiente normal e encharcado, respectivamente.

Quanto ao peso de grãos (PG) (Tabela 12), foi obtido uma produção média dos materiais no ambiente normal de 7,91 t ha<sup>-1</sup>, enquanto que no ambiente encharcado foi de 5,56 t ha<sup>-1</sup>, o que significa uma redução média de 30%. No ambiente encharcado, as cultivares BR 107 (4,22 t ha<sup>-1</sup>) e ciclo 1 (5,19 t ha<sup>-1</sup>) foram as menos produtivas, enquanto a cultivar de maior produção foi o ciclo 15 (6,45 t ha<sup>-1</sup>). O ganho de seleção no ambiente encharcado, do ciclo 1 para o ciclo 15, em t ha<sup>-1</sup>, foi de 19%. Vale ressaltar, que houve uma redução no rendimento de grãos do ambiente normal para o encharcado. Concordando com Joshi & Dastane (1966), o excesso de umidade no solo durante a formação das espigas interfere na fertilização dos óvulos, e, posteriormente, na acumulação de reservas de grãos.

**Tabela 12.** Médias para peso de 100 sementes (P100) e peso de grãos, avaliado em dois ambientes, de quatro ciclos (C 1, C 5, C 9 e C 15) de seleção da variedade BRS 4154 – Saracura e duas testemunhas.

Genótipos	P100 (g)		PG (t ha <sup>-1</sup> )	
	Normal	Encharcado	Normal	Encharcado
C 1	32,46 ABa	27,14 Ab	7,45 Aba	5,19 ABb
C 5	28,12 Ba	26,37 Aa	7,25 Ba	5,91 ABb
C 9	32,04 ABa	27,22 Ab	7,85 Aba	5,54 ABb
C 15	32,51 ABa	28,22 Aa	8,00 Aba	6,45 Ab
BR 107	29,94 Ba	26,55 Aa	6,96 Ba	4,22 Bb
BRS 1010	36,69 Aa	31,60 Ab	10,00 Aa	6,06 ABb
C V (%)	7,14	12,07	10,88	15,02

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas, para genótipos, e minúscula, nas linhas, para ambiente, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## 6. CONCLUSÕES

As características fluorescência da clorofila e teor de clorofila não foram adequados para serem utilizados como indicativo de estresse de água em milho no presente estudo.

A área foliar foi uma característica importante na avaliação das plantas de milho dos ciclos de seleção da variedade de BRS 4154 – Saracura, sendo indicada na seleção de plantas de milho sob encharcamento do solo.

A porosidade de raiz foi o principal mecanismo de tolerância utilizado pelas plantas de milho em condições de encharcamento.

O encharcamento do solo reduziu a absorção de nitrogênio, potássio e cálcio, não tendo efeito significativo na absorção de fósforo, magnésio, enxofre, zinco, manganês e cobre.

Os ciclos de seleção mais avançados do Saracura possuem mecanismos de exclusão de ferro tóxico.

Sob a condição encharcada de cultivo, o estresse causado pelo excesso de água no solo diminuiu a altura de planta e da inserção da espiga, peso de 100 sementes e o rendimento de grãos e, não houve efeito para número de fileiras de grãos, comprimento da espiga e índice de espiga.

A seleção para número de grãos por planta implicará em aumento de produtividade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J.D.; Magalhães, M.M.; Oliveira, L.E.M.Vitorino, P.F.P.G. Mecanismo de tolerância de plantas ao alagamento. **Universa**, Brasília, v.8, n.1, p.221-242, mar. 2000.
- Appizzato-da Glória, B. & Carmello-Guerreiro, S. M. **Anatomia vegetal**, 1 ed. Viçosa-Mg, 2003. 438 p.
- Amstrong, W.; Brändle, R.; Jackson, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, Oxford, v. 43, n.4, p.307-358, Dec. 1994.
- Atwell, B.J. A steady of the impaired growth of root of *Zea mays* at low oxygen concentration. **Plant Cell and environment**. V.8, p.178-188, 1995.
- Barreto, J.F. Avaliação de progênies de meio irmãos do composto de milho CMS-54 em duas condições de várzea do RS. 1995. 145p. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Federal de Pelotas., Rio Grande do Sul, RS.
- Bergman, H. F. Oxygen deficiency as a cause of disease in plants. *Botanical Review*, Plainfield, v. 25, n. 3, p. 417-485, 1959.
- Bolhar-Nordenkamp, H.R.; Long, S.P.; Oquist, G.; Schreiber, U.; Lechner, G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989.
- Bor, M.; Ozdemir, F. & Turkan, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant science.**, v. 164, p. 77-84, 2003.
- Bradford, K.J. & Yang, S.F. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. **Hort science**, v.16, n.1, p.3-8.

Carangal, V.R. Maize and rice-based cropping system. **In: ASIAN REGIONAL MAIZE WORKSHOP 3. Mexico 1988.** Proceedings. Mexico. CIMMYT, p. 119-190.

Carvalho, C.J.R. & Ishida, F.Y. Respostas de pupunheiras (*Bactris gasipaes*Kunth) jovens ao alagamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 9, p. 1231-1297, setembro 2002.

Coutts, M.P., and W. Armstrong. 1976. **In tree Physiology and Yield Improvement**, M. G.R. Cannell and F.T. Last, Eds. Academic, New York, p.361-385.

Crane, J.H.; Davies, F.S.; Periodic and seasonal flooding effects on survival, growth, and stomatal conductance of young Rabbiteye Blueberry plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.113, n.4, p.488-493, July 1988.

Craford, R.M.M.; James, E.K. Effect of oxygen availability on nitrogen fixation by two *Lotus* species under flooded conditions. **Journal of experimental Botany**, Lancaster, v.49, n.320, p.599-609, Mar. 1998.

Drew, M.C.; Jackson, M.B.; Giffard, S. Ethylene-promoted adventitious rooting and development of cortical air spaces (aerenchyma) in roots may be adaptive responses to flooding in *Zea mays* L. **Planta**, Berlin, v.147, n.1, p.83-88, 1979.

Drew, M.C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, p.223-250, 1997.

Esau, K. **Anatomia das plantas com sementes**; tradução: Berta Lange de Morretes. São Paulo, Edgard Blucher, 1976.

Fausey, N. R., McDonald Jr., M. B. Emergence of inbred and hybrid corn following flooding. *Agronomy Journal*, Madison, v. 77, n. 1, p. 51-56, 1985.

Ferrer, J.L.R. O cálcio na tolerância do milho (*Zea mays* L.) “Saracura” BRS-4154 ao alagamento do solo em condições de campo e casa de vegetação. 2003. 49p. **Dissertação Mestrado** – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Forsythe, W. M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad Del suelo. *Fitotecnia Latinoamericana*, San José, v. 4, n. 2, p. 165-175, 1967.

Fox, T.C.; Kennedy, R.A.; Rumpho, M.E.; Energetics of plant growth under anoxia: Metabolic adaptations of *Oryza sativa* and *Echinochloa phyllopogon*. **Annals of Botany**, London, v.74, n.5, p.445-455, Nov. 1994.

Frota, A.B.; Cunha, A.S.; Francis, D.G. e Filho, F.M. Determinantes da produtividade média da terra na cultura de arroz de várzea na região de Muriaé, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.29, n.164, 345-351, 1982.

He, C.; Morgan, P.W.; Drew, M.C.; Transduction of an ethylene signal is required for cell death and lysis in the root cortex of maize during aerenchyma formation induced by hypoxia. **Plant Physiology**, Rockville, v.112, p. 463-472, 1996.

Jackson, M.B. 1979. Is the diageotropic tomato ethylene deficient. **Physiologia Plantarum** v.46, p.347-351.

Jackson, M.B.; Drew, M.C.; Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: Koslowski, T.T. **Flooding and plant growth**. London: Academic Press, 1984. p.47-128.

Jensen, R.C.; Stolzy, H.L. & Letey, J. 1967. Tracer studies of oxygen diffusion through roots of barley, corn and rice. **Soil Science** v.103, p.23-29.

Jensen, C.R.; Luxmoor, R.J.; Van Gundy, S.D.; Stolzy, H.L. 1969. Root air space measurements by a pycnometer method. **Agronomy Journal** v.61, n.3, p. 474-475.

Joshi, M. S.; Dastane, N. G. Studies in excess water tolerance of crops plants. **Indian Journal of Agronomy**, v. 11, p. 70-79, 1966.

Lemke-Keyes C.A; Sachs, M.M. Genetic variation for seedling tolerance to anaerobic stress in maize germoplasm. **Maydica**, Bergamo, v.34, p. 329-337, 1989.

Leon, L. A., Arregocés, O. **Química de los suelos inundados** – guia de estudio. Cali: CIAT, 1981. 35 p.

Letey, J., Stolzy, L. H., Blank, G. B. Effect of duration and timing of low soil oxygen content on shoot and root growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, n. 1, p. 34-37, 1962.

Livramento, D.E.; Alves, J.D.; Magalhães, M.M.; Freitas, R.B.; Meyer, L.E.; Avaliação das trocas gasosas, eficiência fotoquímica e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a diferentes regimes de encharcamento do sistema radicular. In: Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal, 8., 2001, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBFV, 2001. CD-ROM.

Lopes, M.A.; Parentoni, S.N.; Magnavaca, R. 1988. Adaptaciones morfológicas y fisiológicas en plantas de maiz sometidas a deficiencia de oxígeno en el suelo. In: IICA-BID-PROCANDIANO. **II Seminario de Mejoramiento para Tolerancia a Factores Ambientales Adversos en el Cultivo de Maiz**. Ed. por B. Ramakrisna. Quito, Ec. PROCANDIANO, p. 106-124.

Luxmoore, R.J., Stolzy, L.H. Root porosity and growth responses of rice and maize to oxygen supply. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, n.2, p.202-204, 1969.

Luxmoore, R.J., Stolzy, L.H., Letey, J. Oxygen diffusion in the soil-plant system. I. A model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p.317-322, 1970.

Luxmoore, R. J., Fischer, R. A., Stolzy, L. H. Flooding and soil temperature effects on wheat during grain filling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 3, p. 361-364, 1973.

Machado, R.A.F. Linhagens de milho contrastantes para tolerância à seca e eficiência de utilização de nitrogênio. 2003. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, SP.

Magalhães, P.C.; Durães, F.O.M.; Andrade, C. de L.T. de; Oliveira, A.C. de; Gama, E.E.G. Adaptação do milho a diferentes condições de alagamento. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 23., 2000, Uberlândia, MG. **[Resumos expandidos.]**. Uberlândia: ABMS, 2000, CD-ROM.

Menezes Neto, M. A. Influência da disponibilidade de oxigênio sobre a germinação, crescimento e atividade das enzimas álcool desidrogenase e lactato desidrogenase em açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). 1994. 50 p. **Dissertação de mestrado** – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

Moraes, J.F.V. & Freire, C. J. S. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, série agronomia, n. 9, p. 35-43, 1974.

Moraes, J.F.V. & Dynia, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley pouco húmico sob inundação e após a drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 223-235, fev. 1992.

Kanwar, R.S. and Sial, J.K. Effects of waterlogging on growth on corn. In: ICID EUROPEAN REGIONAL CONFERENCE, 15, Dubrovnik, Yugoslavia, 1988. **Proceeding...** Dubrovnik: Luterrational Comission on Irrigation and Drainage, V.2, p. 167-171, 1988.

Kende, W.; Knaap, E. Van der.; Cho, H. Deepwater Rice: A model plant to study stem elongation. **Plant Physiology**, Rockville, v.118, p.1105-1110, 1998.

Kozlowski, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, Victoria, n. 1, p. 1-29, 1997.

Krizek, D.T. Plant response to atmospheric stress caused by waterlogging. In: CHRISTIANSEN, M.N., Lewis, C.F., eds. **Breeding plants for less favorable environments**. New York: J. Wiley, 1982. p.293-327.

Parentoni, S.N.; Gama, E.E.G.; Magnavaca, R.; Lopes, M.A.; Bahia Filho, A.F. de C.; Paiva, E. 1990. Variabilidade genética e modificação morfológicas e fisiológicas para tolerância ao encharcamento do solo em milho. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS. 29p. (Embrapa. PNP de milho. Projeto 00382022/2). Relatório.

Parentoni, S. N.; Gama, E. E. G.; Magnavaca, R.; Magalhães, P. C. Selection for tolerance to waterlogging in maize (*Zea mays L.*). In: **Simpósio Internacional sobre estresse abiótico**. Belo Horizonte, MG. – Brasil. P. 434-449, 1995.

Patrick Jr., W. H., Mahapatra, I. C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 20, n. 3, p. 323-359, 1968.

Pezeshki, S.R.; Pardue, J.L. & DeLaune, R.D.L. Leaf gas exchange and growth of flood-tolerant and flood-sensitive tree species under low soil redox condition. **Tree Physiology**, Victoria, v.16, p.453-458, 1996.

Pires, J.L.F.; Soprano, E.; Cassol, B.; Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.1, p.41-50, Jan. 2002.

Ponnamperuma, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p. 29-96, 1972.



Porto, M.P. **Memorias de la III Reunion Latinoamericana Y XVI Reunion de la Zona Andina de Investigadores em maiz.** Tomo 1, Cochabamba – Santa Cruz, Bolívia, 1995.

Rowell, D. L. Oxidation and reduction. In: Greenland, D. J., Hayes, M. H. B., eds. *The chemistry of soil processes.* Chichester: J. Wiley, 1981. p. 401-461.

Sachs, M.M.; Freeling, M. Selective synthesis of alcohol dehidrogenase during anaerobic treatment of maize. **Molecular and General Genetics**, New York, v.161, p.111-115, 1978.

Sanchez, P. A. Suelos del trópico: características Y manejo. San José: IICA, 1981. 634 p.

Santos, A. B. dos. Aproveitamento da soca. In: Vieira, N. R. de A.; Santos, A.B. dos; Sant' Ana, E. P. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 1999. p. 463-492.

Schreiber, U.; Gaademann, R.; Ralf, P.J.; Larkun, A.W.D. Assessment of photosynthetic performance of prochloron in *lisocinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v.38, n.8, p. 945-951, 1997.

Silva, A.R. da. Tolerância ao encharcamento. S.I.: s.ed., 1984. 22p. **Trabalho apresentado no 1<sup>o</sup> Simpósio sobre alternativas ao Sistema Tradicional de Utilização das Várzeas do Estado do Rio Grande do Sul, 1984.**

Slatyer, R. O. Factors affecting root permeability. In: Slatyer, R. O. *Plant water relationships: water movement throught the plant.* 3. ed. New York; academic Press, 1970. p. 204-210.

Summer, J.E.; Ratcliffe, R.G.; Jackson, M.B.; Anoxia tolerance in the aquatic monocot potamogeton *pectinatus*: absence of oxygen stimulates elongation in association with an unusually large Pasteur effect. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51. n. 349, p.1413-1422, Aug. 2000.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. 719 p.

Wild, A. Mass flow and diffusion. In: Greeland, D. J., Hayes, M. H. B., eds. *The chemistry of soil processes.* Chichester: J. Wiley, 1981. p. 37-80.

Williamson, R. E. The effect of root aeration on plant growth. *Soil Science of American Proceedings*, Madison, v. 28, n. 1, p. 86-90, 1964.

Wu, M.S.; Jiang, C.G. and Song, Z. W. 1987. Control of waterlogging in summer maize and its effect on yield. **Jiangsu – Mongye – Kexue**, n.4, p. 13-15.

Vantoai, T.T.; Saglio, P.; Ricard, B.; Pradet, A. Developmental regulation of anoxia stress tolerance in maize. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.18, p.937-942, 1995.

Vartapetian, B.B.; Jackson, M.B. Plant adaptation to anaerobic stress. **Annals of Botany**, London, v.79 (Supplement A): p. 3-20, 1997.

## APÊNDICE

**Quadro 1.** Resumo da análise de variância de fluorescência da clorofila (FC), teor de clorofila (TC), área foliar (AF) e porosidade de raiz (PR) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e BRS 1010.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		FC	TC	AF	PR
<b>Blocos</b>	3	0,001067*	31,41 <sup>ns</sup>	25511321	0,667596 <sup>ns</sup>
<b>Ambiente</b>	1	0,002228*	569,48**	0,1052.10 <sup>8**</sup>	34,31**
<b>Amb x bloco</b>	3	0,000291 <sup>ns</sup>	7,60 <sup>ns</sup>	231726 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>
<b>Genótipos</b>	5	0,000437 <sup>ns</sup>	30,11*	3154592**	6,56**
<b>Gen x amb</b>	5	0,000388 <sup>ns</sup>	9,59 <sup>ns</sup>	2459210**	7,93**
<b>Resíduo</b>	30	0,000300	11,00	594057,8	0,881828
<b>Média</b>		0,77	56,65	6264,5	5,24
<b>C V (%) erro A</b>		2,22	4,87	7,68	22,53
<b>C V (%) erro B</b>		2,25	5,86	12,30	17,42

\*Significativo pelo teste F a 5%.

\*\*Significativo pelo teste F a 1%.

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

**Quadro 2.** Resumo da análise de variância do teor de nitrogênio (TN), teor de fósforo (TP), teor de potássio (TK) e teor de cálcio (TCa) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e BRS 1010.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		TN	TP	TK	TCa
<b>Blocos</b>	3	0,064974 <sup>ns</sup>	0,000962 <sup>ns</sup>	0,325829**	0,020191*
<b>Ambiente</b>	1	2,10**	0,003141 <sup>ns</sup>	0,852000**	0,019940*
<b>Amb x bloco</b>	3	0,1939*	0,001015 <sup>ns</sup>	0,246876**	0,001173 <sup>ns</sup>
<b>Genótipos</b>	5	0,073939 <sup>ns</sup>	0,002410 <sup>ns</sup>	0,476328**	0,013822*
<b>Gen x amb</b>	5	0,015240 <sup>ns</sup>	0,001197 <sup>ns</sup>	0,370755**	0,028450**
<b>Resíduo</b>	30	0,051151	0,001157	0,043629	0,004756
<b>Média</b>		1,81	0,28	1,66	0,62
<b>C V (%) erro A</b>		24,33	11,30	30	5,53
<b>C V (%) erro B</b>		12,52	12,06	12,55	11,14

\*Significativo pelo teste F a 5%.

\*\*Significativo pelo teste F a 1%.

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

**Quadro 3.** Resumo da análise de variância do teor de magnésio (TMg), teor de enxofre (TS), teor de ferro (TFe) e do teor de manganês (TMn) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e BRS 1010.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		TMg	TS	TFe	TMn
<b>Blocos</b>	3	0,002288**	0,000274 <sup>ns</sup>	17728,82*	55,60 <sup>ns</sup>
<b>Ambiente</b>	1	0,7x10 <sup>-5ns</sup>	0,004408**	437924,4**	5702,21**
<b>Amb x bloco</b>	3	0,001768*	0,000532 <sup>ns</sup>	14552,45*	24,41 <sup>ns</sup>
<b>Genótipos</b>	5	0,000397 <sup>ns</sup>	0,000145 <sup>ns</sup>	54168,91**	389,81**
<b>Gen x amb</b>	5	0,000309 <sup>ns</sup>	0,000448 <sup>ns</sup>	26720,22**	251,70**
<b>Resíduo</b>	30	0,000477	0,000275	4654,88	51,44
<b>Média</b>		0,14	0,14	300,11	45,26
<b>C V (%) erro A</b>		30,45	9,8	40,20	10,92
<b>C V (%) erro B</b>		15,81	12,16	22,73	15,85

\*Significativo pelo teste F a 5%.

\*\*Significativo pelo teste F a 1%.

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

**Quadro 4.** Resumo da análise de variância do teor de zinco (TZn), teor de cobre (TCu), altura de planta e espiga dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e BRS 1010.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		TZn	TCu	AP	AE
<b>Blocos</b>	3	146,67**	0,65 <sup>ns</sup>	0,077672**	0,033275 <sup>ns</sup>
<b>Ambiente</b>	1	258,30**	75,00**	0,004987 <sup>ns</sup>	0,029569 <sup>ns</sup>
<b>Amb x bloco</b>	3	134,81**	32,18**	0,025305 <sup>ns</sup>	0,021194 <sup>ns</sup>
<b>Genótipos</b>	5	10,48 <sup>ns</sup>	5,62*	0,089085**	0,079871**
<b>Gen x amb</b>	5	7,39 <sup>ns</sup>	13,87**	0,049754*	0,037178*
<b>Resíduo</b>	30	10,62	2,20	0,013505	0,010761
<b>Média</b>		20,63	7,87	2,33	1,29
<b>C V (%) erro A</b>		56,28	72	6,83	11,25
<b>C V (%) erro B</b>		15,79	18,83	4,99	8,02

\*Significativo pelo teste F a 5%.

\*\*Significativo pelo teste F a 1%.

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

**Quadro 5.** Resumo da análise de variância do comprimento de espiga (CE), índice de espiga (IE), número de fileira da espiga (NFE) e número de grãos por fileira (NGF) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e BRS 1010.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		CE	IE	NFE
<b>Blocos</b>	3	1,12 <sup>ns</sup>	0,018889 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
<b>Ambiente</b>	1	7,93**	0,053333 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
<b>Amb x bloco</b>	3	4,00*	0,006667 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
<b>Genótipos</b>	5	3,34**	0,020333 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>
<b>Gen x amb</b>	5	1,16 <sup>ns</sup>	0,020333 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	30	0,89	0,012778	0,86
<b>Média</b>		14,74	1,09	14,33
<b>C V (%) erro A</b>		13,56	7,49	5,93
<b>C V (%) erro B</b>		6,40	10,36	6,45

\*Significativo pelo teste F a 5%.

\*\*Significativo pelo teste F a 1%.

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.

**Quadro 6.** Resumo da análise de variância do número de grãos por planta (NGP), peso de 100 sementes (P100) e peso de grãos (PG) dos ciclos de seleção da variedade BRS 4154, BR 107 e BRS 1010.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		NGP	P100	PG
<b>Blocos</b>	3	8675,35 <sup>ns</sup>	4,03 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
<b>Ambiente</b>	1	110620,8**	202,80**	61,43**
<b>Amb x bloco</b>	3	2664,59 <sup>ns</sup>	14,61 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>
<b>Genótipos</b>	5	13982,69*	44,91**	4,26**
<b>Gen x amb</b>	5	2615,32 <sup>ns</sup>	3,62 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	30	4733,52	8,25	0,69
<b>Média</b>		529,36	29,90	6,71
<b>C V (%) erro A</b>		9,75	12,78	16,70
<b>C V (%) erro B</b>		13,00	9,60	12,40

\*Significativo pelo teste F a 5%.

\*\*Significativo pelo teste F a 1%.

<sup>ns</sup>Não significativo pelo teste F.