



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo  
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

ISSN 1217-1981

Dezembro, 2009

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 17***

## **Anatomia Radicular ao Longo dos Ciclos de Seleção do Milho Saracura sob Alagamento Intermitente do Solo**

*Paulo César Magalhães  
Thiago C. de Souza  
Fabricio J. Pereira  
Evaristo M. de Castro  
Sidney N. Parentoni*

Sete Lagoas, MG  
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Caixa Postal 151

Fone: (31) 3027 1100

Fax: (31) 3027 1188

Home page: [www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)

E-mail: [sac@cnpms.embrapa.br](mailto:sac@cnpms.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino

Secretário-Executivo: Flávia Cristina dos Santos

Membros: Elena Charlotte Landau, Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes,  
Paulo Afonso Viana e Clenio Araujo

Revisor de texto: Clenio Araujo

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Editoração eletrônica: Communique Comunicação

**1ª edição**

1ª impressão (2009): 200 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Milho e Sorgo

---

Anatomia radicular ao longo dos ciclos de seleção do milho Saracura sob alagamento intermitente do solo / Paulo César Magalhães ... [et al.]. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

24 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1217-1981; 17).

1. Milho. 2. Zea mays. 3. Raiz. 4. Água no solo. I. Magalhães, Paulo César. II. Série.

CDD 633.15 (21. ed.)

# Sumário

Resumo.....	5
Introdução .....	6
Material e métodos .....	8
Resultados e discussão .....	10
Referências .....	20

# Anatomia Radicular ao Longo dos Ciclos de Seleção do Milho Saracura sob Alagamento Intermitente do Solo

---

Paulo César Magalhães<sup>1</sup>

Thiago C. de Souza<sup>2</sup>

Fabricao J. Pereira<sup>2</sup>

Evaristo M. de Castro<sup>3</sup>

Sidney N. Parentoni<sup>1</sup>

## Resumo

Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar as modificações nas estruturas anatômicas radiculares em sucessivos ciclos de seleção (ciclo 1 ao ciclo 18 alternados) do milho Saracura BRS 4154 sob encharcamento do solo. Essa variedade possui capacidade de sobreviver e produzir em solos temporariamente alagados e foi desenvolvida, pela Embrapa Milho e Sorgo, por seleção recorrente fenotípica estratificada para plantio em solos de várzea. O ensaio foi conduzido em condições de campo, iniciando o alagamento do solo no estágio de seis folhas, aplicando uma lâmina de 20 cm de água três vezes por semana. No florescimento, amostras de raízes foram retiradas, fixadas e seccionadas para observação em microscópio de luz. Pelas fotomicrografias de secções transversais, foi observada, ao longo dos ciclos de seleção, maior

---

<sup>1</sup>Pesquisadores Embrapa Milho e Sorgo. Caixa postal 151, 35701.970 - Sete Lagoas, MG

<sup>2</sup>Doutorandos em Fisiologia Vegetal, UFLA, Lavras, MG - Departamento de Biologia, thiagonepre@hotmail.com

<sup>3</sup>Professor Anatomia Vegetal, UFLA, Lavras, MG - Departamento de Biologia

quantidade de aerênquima, diminuição do córtex, diminuição da exoderme, aumento na proporção do cilindro vascular, metaxilemas menores e numerosos e aumento na espessura do floema e da epiderme. Essas modificações proporcionaram à planta de milho maior adaptação, aumentando sua capacidade de tolerar solos encharcados.

## **Introdução**

O alagamento é um dos estresses abióticos de maior impacto na sobrevivência de plantas em muitas regiões do mundo e, com as previsões do efeito estufa (que resultarão em tempos mais irregulares futuramente), o problema se agrava ainda mais (QIU et al., 2007). O alagamento é caracterizado pela baixa disponibilidade de oxigênio (hipoxia), devido a um preenchimento dos poros do solo pela água, acarretando uma diminuição na concentração desse gás tanto no solo, quanto nas partes do vegetal (BAILEY-SERRES; VOESENEK, 2008). Com a falta de oxigênio, a fosforilação oxidativa é bloqueada e o metabolismo aeróbico é trocado pelo anaeróbico, tendo um desvio para a rota glicolítica fermentativa. Com isso, o crescimento vegetal é severamente afetado (SAIRAM et al., 2008).

O milho é uma cultura sensível ao alagamento e sua inabilidade para baixa disponibilidade de oxigênio na rizosfera, causada pelo encharcamento radicular, resulta em substanciais perdas na produtividade (ZAIDI et al., 2007). Entretanto, uma grande variabilidade genética tem sido encontrada na espécie *Zea mays* L., sendo de grande valia para os melhoristas (ZAIDI et al., 2004). Plantas tolerantes a esses ambientes possuem capacidade de adaptação metabólica, morfológica e anatômica para conseguirem sobreviver e reproduzir (FERNÁNDEZ, 2006). Para se esquivar da falta de oxigênio em áreas alagadas, o milho desenvolve aerênquimas lisígenos (GUNAWARDENA et al., 2001). Esses são tecidos parenquimáticos com grandes espaços intercelulares preenchidos com gases que permitem o transporte do oxigênio do caule para as raízes que estão em condição de

hipoxia (EVANS, 2004).

No Brasil, grandes limitações agrícolas pelo alagamento são encontradas nas planícies de inundação ou áreas de várzeas (solos aluviais e hidromórficos), em que inundações temporárias restringem a agricultura somente para o arroz (cultura mais adaptada) (SILVA et al., 2007). Preocupada com esse fato e pensando na possibilidade de rotação de cultura com o milho nos solos de várzea, a Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu, por meio da seleção recorrente fenotípica estratificada, uma variedade de milho conhecida por Saracura BRS 4154, com capacidade de sobreviver, produzir e suportar períodos temporários de encharcamento do solo (FERREIRA et al., 2008; PARENTONI et al., 1997). O nome Saracura é uma referência à ave comumente encontrada em terrenos alagadiços brasileiros. Atualmente, essa variedade se encontra no 18<sup>o</sup> ciclo anual de seleção. Sua capacidade em tolerar períodos intermitentes de alagamento deve-se à presença de diferentes mecanismos bioquímicos e fisiológicos e também a modificações morfoanatômicas radiculares, como a formação de raízes adventícias, aerênquima e modificações no cilindro vascular (PEREIRA et al., 2008).

Outros trabalhos também relatam a superioridade de espécies de milho frente ao encharcamento. Porém, há poucos trabalhos quantitativos sobre a seleção clássica por recombinação de genótipos e seus ganhos morfoanatômicos. Apesar de alguns estudos básicos com o Saracura terem sido realizados (PEREIRA et al., 2008; VITORINO et al., 2001), não existe ainda um trabalho de comparação anatômica de todos os ciclos de seleção no campo, condição em que todos os fatores bióticos e abióticos limitantes estão presentes. Nesse contexto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar as modificações nas estruturas anatômicas radiculares em sucessivos ciclos de seleção (ciclo 1 ao ciclo 18 alternados) do milho Saracura BRS 4154 sob encharcamento do solo.

## **Material e métodos**

O experimento foi conduzido no período de outubro de 2007 a janeiro de 2008, em condições de campo na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, no estado de Minas Gerais, Brasil (clima AW de Savana com inverno seco, altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude Oeste 44°15'). As temperaturas, máxima e mínima, registradas durante o período de avaliação foram de 30 °C e 18 °C, respectivamente. A umidade relativa média foi 64,3 % e a precipitação acumulada 852 mm.

Com a finalidade de facilitar o alagamento, a área foi nivelada e dividida em talhões. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de quatro fileiras de 5 m de comprimento e espaçadas em 0,9 m. A distância entre as plantas na linha da parcela foi de 0,2 m e a área útil correspondeu a duas fileiras centrais. Áreas de bordadura foram colocadas em torno das parcelas. A adubação do solo, classificado como Neossolo Flúvico Tb, Eutrófico Típico, textura argilosa, fase relevo plano campos de várzeas (EMBRAPA, 1999), foi realizada de acordo com a recomendação da análise química. Aplicou-se adubação básica com 5-20-20 + Zn em doses de 400 kg/ha no momento do plantio e, após a germinação das cariopses, realizaram-se duas coberturas com sulfato de amônio, em doses de 20 g/m linear no estágio de seis folhas e a segunda no estágio de oito folhas. Todos os tratamentos fitossanitários necessários à cultura foram aplicados.

O alagamento foi iniciado no estágio de seis folhas (quando o meristema de crescimento das plantas já se encontra acima da superfície do solo) (MAGALHÃES et al., 2007), terminando na maturidade fisiológica, recebendo uma lâmina de 20 cm de água (inundação de tabuleiro) três vezes por semana. O material genético utilizado constituiu-se dos ciclos de seleção do milho Saracura BRS 4154 intercalados (C1, C3, C5, C7, C9, C11, C13, C15, C17 e C18) e uma variedade BR 107 como testemunha,

conhecida pela susceptibilidade ao encharcamento.

No florescimento, fase de maior susceptibilidade ao estresse por excesso de água (ZAIDI et al., 2004), as raízes foram retiradas por meio de escavamento, lavadas com água corrente e cortadas na região do colo. Raízes completas (região apical, de alongamento, pilífera e basal) de duas plantas em cada repetição foram coletadas aleatoriamente e fixadas em solução de formaldeído, ácido acético e etanol 70 % (FAA 70) por 48 h e, em seguida, preservadas em etanol 70 %. As secções transversais foram feitas a 4 cm a partir do ápice radicular com micrótomo de mesa. Esses foram clarificados com hipoclorito de sódio 5 % por 10 min, reidratados por 10 min, corados com astrablau (solução de safranina e azul de astra 7,5:2,5) e montados em lâminas com glicerina 50 %. As secções foram fotografadas em microscópio óptico de luz Olympus BX-60 acoplado a uma câmara digital. As fotomicrografias foram utilizadas para as medições dos seguintes parâmetros: área total de aerênquima (AAE); proporção ocupada pelo aerênquima no córtex (PA); proporção da área do cilindro vascular em relação à área total da raiz (PCV); proporção da área do córtex em relação à área total da raiz (PC); espessura do córtex (EC); espessura da camada de células suberizadas presentes na região da hipoderme (exoderme) (CS); diâmetro das células corticais (DCO); espessura da epiderme (EEP); espessura da endoderme (ED); diâmetro das células do metaxilema (DX); número de metaxilema (NX); e espessura do floema no cilindro vascular (FL). A proporção da área ocupada pelo aerênquima no córtex foi calculada pela divisão da área total de aerênquima formado pela área total do córtex.

As medições foram feitas pelo programa de análise de imagens UTHSCSA ImageTool, utilizando-se calibrações feitas com régua microscópica fotografada nos mesmos aumentos das fotomicrografias. Para a determinação do dado final, realizou-se uma média das raízes de duas plantas de cada repetição, sendo, em cada raiz, sido feitas cinco medições de cada característica anatômica. Para análise estatística dos resultados, utilizaram-se a análise de variância e o teste de comparação de médias Skott-Knott, no nível de significância de 0,05, no programa Sisvar versão 4.3.

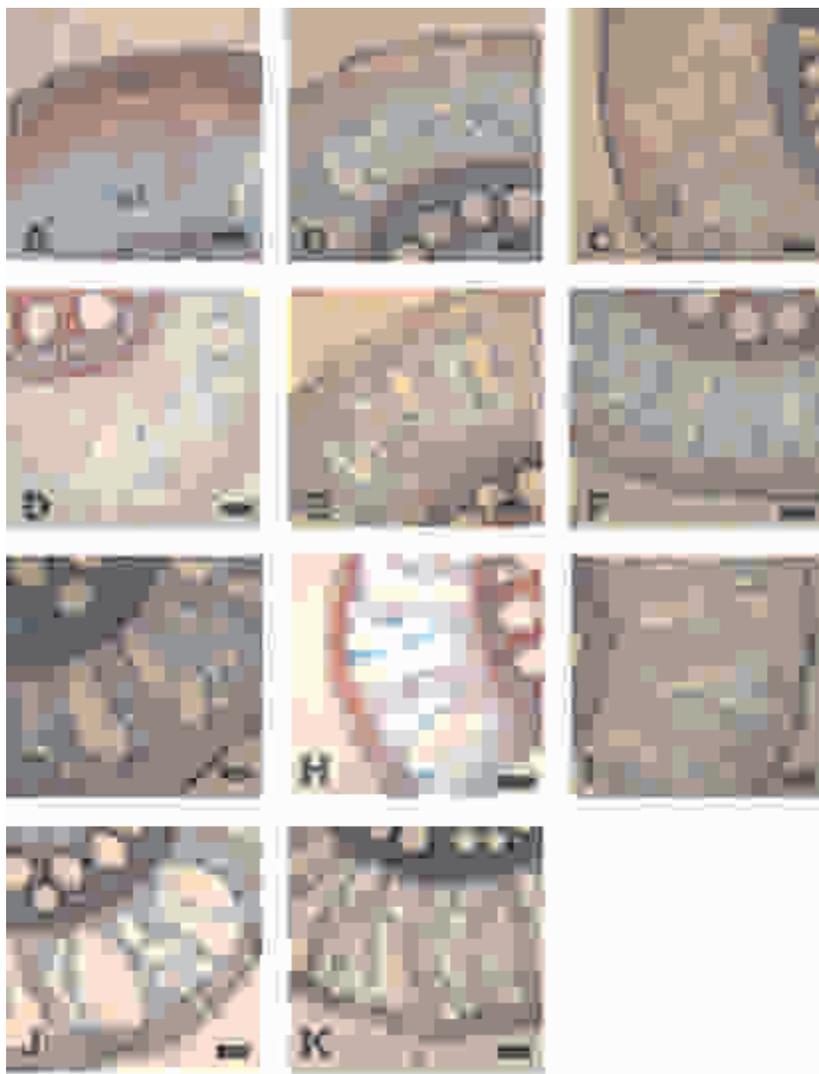
## Resultados e discussão

Os resultados mostraram diferenças anatômicas no córtex ao longo dos ciclos de seleção. Quanto à presença de aerênquimas (AAE), ficou distinguível a superioridade dos últimos ciclos em relação aos iniciais e à testemunha (Tabela 1). O ciclo 18, seguido do ciclo 17, apresentou maior AAE do que os demais tratamentos e ambos foram estatisticamente semelhantes entre si. Esses ciclos tiveram 98,3 % e 98,1 %, respectivamente, mais aerênquima do que a testemunha. Com isso, nota-se a pequena adaptabilidade da variedade BR 107 frente ao alagamento. O C3, seguido do C1, apresentou a menor AAE entre os ciclos, cerca de 19 % e 21,8 %, respectivamente, da área do C18 e foram, juntamente com C5, C7 e C9, estatisticamente iguais. Os ciclos 11, 13 e 15 apresentaram um aumento de AAE e foram estatisticamente semelhantes entre si. Ao longo dos ciclos, pode-se observar um aumento da área do tecido aerênquimático e, conseqüentemente, da proporção de aerênquima no córtex (PA) (Figura 1). Por sinal, a testemunha resultou em apenas 1,6 % de proporção de aerênquima no córtex, tendo o C18 correspondido a 42,4 % (Tabela 1).

**TABELA 1** - Valores das características relacionadas ao córtex e ao cilindro vascular no sistema radicular do milho Saracura ao longo dos sucessivos ciclos de seleção (alternados) e da variedade BR107 em condições de alagamento intermitente \*

Tratamentos	AAE mm <sup>2</sup>	PA (%)	PCV (%)	PC (%)	EC µm	CS µm
BR107	0,03d*	1,63f	0,20b	0,80a	647,39a	116,04a
C1	0,38c	11,74e	0,21b	0,77b	604,48a	94,89b
C3	0,33c	19,28d	0,20b	0,80a	565,29a	90,36b
C5	0,43c	13,53e	0,15b	0,85a	617,20a	84,70b
C7	0,51c	25,16c	0,19b	0,81a	499,93b	87,45b
C9	0,53c	20,12d	0,25a	0,75b	514,44b	85,96b
C11	0,81b	30,40c	0,27a	0,73b	469,10b	77,94b
C13	0,95b	35,09b	0,25a	0,75b	438,04b	60,99c
C15	0,99b	29,34c	0,23a	0,77b	457,87b	55,34c
C17	1,58a	42,17a	0,26a	0,74b	482,89b	68,21c
C18	1,74a	42,41a	0,25a	0,75b	422,51b	54,94c
CV(%)	15,98	15,95	13,42	4,01	9,81	16,55

\* Médias seguidas por mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Skott-Knott, a 5 % de probabilidade; AAE: área de aerênquima encontrada no córtex; PA: proporção de aerênquima encontrado no córtex; PCV: proporção do cilindro vascular em relação à área total da raiz; PC: proporção do córtex em relação à área total da raiz; EC: espessura do córtex; CS: espessura da camada de células suberizadas presentes na região da hipoderme; CV (%): coeficiente de variação



**FIGURA 1** - Fotomicrografias de seções transversais radiculares do milho Saracura ao longo dos sucessivos ciclos de seleção (alternados) e da testemunha sob alagamento intermitente. ct = córtex; a = aerênquimas; cs = camada de células suberizadas (exoderme). A = BR 107; B = C1; C = C3; D = C5; E = C7, F = C9; G = C11; H = C13; I = C15; J = C17; K = C18. A barra corresponde a 100  $\mu\text{m}$

Em outras plantas cultivadas, como soja (THOMAS et al., 2005), trigo, cevada e aveia (SETTER; WATERS, 2003), também foi relatada a presença de aerênquimas nessas condições. Uma intensa produção de aerênquima foi observada em outras cultivares de milho, como cv. Seneca Horizon (ENSTONE; PETERSON, 2005) e cv. Single Cross 704 (POURABDAL et al., 2008).

Lizaso et al. (2001) constataram uma produção de aerênquima de 30 % a mais em uma variedade de milho venezuelana tolerante ao alagamento do solo em comparação a uma variedade sensível. Essa estrutura, portanto, é uma resposta adaptativa comum de plantas em ambientes alagados.

No presente trabalho, a alta capacidade de formação de aerênquima ao longo dos ciclos de seleção do milho Saracura em condições de campo (Tabela 1) foi comparável ao encontrado por Pereira et al. (2008) em casa de vegetação.

O aumento da porosidade das raízes pela formação de grandes quantidades de aerênquima no córtex do ciclo 18 sob hipoxia ajuda a manter a respiração aeróbica, pois essas estruturas aumentam o fluxo longitudinal de oxigênio da parte aérea a radicular (COLMER, 2003a). Além disso, elas são responsáveis pela ventilação (raiz-atmosfera) de gases em excesso que podem trazer prejuízos, como etileno, metano e gás carbônico. Com a presença de aerênquimas, também decresce o custo metabólico, devido à diminuição da presença de células em respiração (LYNCH; HO, 2005). A maior presença de aerênquima, portanto, faz com que o milho Saracura, representado pelo ciclo 18, tenha um maior sucesso em solos encharcados.

Percebe-se que os valores de PCV aumentaram a partir do nono ciclo de seleção (Tabela 1). A variedade BR 107 apresentou valores estatisticamente semelhantes aos ciclos 1, 3, 5 e 7. O C11 apresentou maior média (0,27 %), mas foi estatisticamente semelhante aos ciclos 9, 13, 15, 17 e 18.

Os mesmos perfis estatísticos foram observados na PC. Porém, os últimos

ciclos resultaram em menores valores do que os primeiros, juntamente com a testemunha. Já a EC também diminuiu ao longo dos ciclos. O ciclo 18 apresentou redução de 35 % da EC em relação à testemunha, 31,5 % e 30,1 % em relação aos dois ciclos iniciais (C5 e C1, respectivamente, Tabela 1).

Os resultados obtidos neste trabalho foram diferentes daqueles encontrados por Pereira et al. (2008), que não relataram aumento da PCV e nem tampouco diminuição da PC. Em condições de casa de vegetação, esses autores observaram um menor córtex, aproximadamente 7 % a menos, em relação à testemunha e ao C1. Provavelmente, em condições de campo, ocorrem fatores limitantes diferentes (como unidade e temperatura) daqueles observados em casa de vegetação que podem estar alterando a expressão do milho Saracura. Em condições de campo, no presente trabalho foi observada uma diminuição da proporção do córtex nos últimos ciclos que, possivelmente, resultou na diminuição da EC.

Com a presença de aerênquima, ocorre diminuição da condutividade hidráulica e uma menor EC ocorrida nos últimos ciclos de seleção (Tabela 1) pode resultar em uma maior condutividade, pois menor será a distância necessária para a água chegar ao cilindro vascular, aumentando, assim, a capacidade da planta de suportar o estresse.

Muitos trabalhos têm focado mudanças no cilindro vascular frente a estresses ambientais. Modelos têm relatado a importância de se ter cilindros menores para evitar danos em raízes com baixa porosidade e difusão de oxigênio (COLMER, 2003a). Um menor cilindro vascular levaria maiores chances de transporte de oxigênio, água e fotoassimilados em plantas com raiz em condições de hipoxia. Isso foi observado no presente trabalho, no qual os primeiros ciclos e a testemunha resultaram em cilindros menores. Porém, nos ciclos 9, 11, 13, 15, 17 e 18, houve aumento significativo do cilindro e, provavelmente, maior condução sob alagamento (Tabela 1). Um maior investimento em cilindro vascular é possível nesses ciclos, pois alta porosidade e alta difusão de oxigênio são encontradas nos

respectivos córtex.

A camada de células suberizadas (CS) presentes na região da hipoderme (exoderme) diminuiu ao longo dos ciclos (Tabela 1). O ciclo 18 correspondeu à menor espessura e a testemunha, seguida dos ciclos iniciais, foi a maior (Tabela 1 e Figura 1). O C18 apresentou redução de 53,2 % em relação à variedade BR 107 e 42,1 % em relação ao C1. Semelhantes barreiras também foram encontradas em arroz (COLMER, 2003b) e gramíneas (*Glyceria maxima* e *Phragmites australis*) (SOUKUP et al., 2007).

A presença de uma barreira espessa nas células da hipoderme da variedade BR 107 e dos primeiros ciclos de seleção do milho Saracura evita a perda radial de oxigênio para a rizosfera e aumenta a difusão longitudinal no aerênquima (COLMER, 2003a), já que essa especialização é escassa nesses genótipos. Além disso, essas camadas suberizadas evitam a absorção parcial de fitotoxinas (SOUKUP et al., 2002). Entretanto, há consequências negativas com relação à presença dessa barreira, pois ela pode diminuir a saída de etileno e metano presentes em excesso e diminuir a entrada de água e nutrientes.

Uma exoderme fina permite um livre movimento radial de oxigênio e cria condições aeradas na rizosfera, protegendo as raízes da presença de fitotoxinas e permitindo maior área superficial (ARMSTRONG et al., 2000). O ciclo 18 do milho Saracura mostrou-se mais adaptado ao alagamento, pois possui uma fina camada suberizada na hipoderme (CS), fornecendo alta difusão radial de oxigênio, que cria uma rizosfera aeróbica sem perdas prejudiciais ao córtex devido a elevadas proporções de aerênquima, que dão uma maior capacidade de suprimento de oxigênio. Pi et al. (2008), estudando oito espécies de locais encharcados, também observaram maior adaptação da *A. llicifolius* e *A. marina* devido à presença de altas proporções de aerênquimas e uma fina exoderme.

Com relação ao diâmetro das células corticais (DCO), houve aumento ao longo dos ciclos de seleção (Tabela 2 e Figura 1). As células corticais do

C18 tiveram um aumento de 40,9 % em relação à testemunha e de 38,6 % em relação ao C1. O aumento do diâmetro das células corticais está relacionado com a diminuição do número de camadas celulares do córtex e com o aumento de espaços intercelulares. Da mesma forma que o aerênquima, células corticais maiores podem diminuir o gasto energético pela diminuição do pool de células em respiração no córtex.

**TABELA 2** - Dimensões de células e tecidos no sistema radicular do milho Saracura ao longo dos sucessivos ciclos de seleção (alternados) e da variedade BR107 em condições de alagamento intermitente \*

Tratamentos	DCO µm	EEP µm	EN µm	DX µm	NX	FL µm
BR107	33,88e*	21,95c	7,98a	131,45a	9,00b	63,01f
C1	35,21e	23,87c	6,80a	119,40b	12,00b	65,44f
C3	37,67d	24,45c	7,78a	108,55c	12,83b	83,14e
C5	35,08e	23,02c	8,24a	098,62d	13,83b	82,45e
C7	39,27d	27,86c	8,10a	099,49d	12,33b	86,77d
C9	40,84d	28,84b	7,88a	101,34d	16,33b	96,74c
C11	48,75b	28,26b	8,22a	100,97d	14,50b	87,35d
C13	45,25c	28,39b	8,65a	96,59d	15,66b	98,77c
C15	49,83b	29,01b	8,66a	96,04d	19,83a	104,52b
C17	50,29b	32,19a	8,89a	87,21e	20,00a	119,94a
C18	57,31a	33,75a	9,16a	69,08f	22,33a	121,67a
CV(%)	5,190	7,250	6,750	2,740	15,69	2,850

\* Médias seguidas por mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste Skott-Knott, a 5 % de probabilidade; DCO: diâmetro das células corticais; EEP: espessura da epiderme; EN: espessura da endoderme; DX: diâmetro das células do metaxilema; NX: número de metaxilema; e FL: espessura do floema no cilindro vascular

A EEP foi maior nos ciclos 17 e 18 e menor na testemunha e nos ciclos iniciais. O aumento da epiderme do C18 foi de, aproximadamente, 35 % em relação à variedade BR 107 e de 29,2 % em relação ao ciclo 1 (Tabela 2). O aumento da epiderme em condições de hipoxia por alagamento foi observado em *Carex acuta* e *Juncus effusus* (VISSER et al., 2000) e essa característica na epiderme dos últimos ciclos do milho Saracura pode estabelecer uma maior dificuldade na entrada de patógenos e substâncias tóxicas pela raiz, já que esses ciclos são mais susceptíveis a essa entrada por não possuírem uma exoderme espessa. Não houve diferença significativa na EN (Tabela 2). Esse resultado contrasta com o trabalho de Pereira et al. (2008) em casa de vegetação, em que foi observado um aumento significativo da endoderme ao longo dos ciclos de seleção do milho Saracura. Essa barreira poderia estar protegendo contra a entrada de patógenos e contra o refluxo de água e gases. Porém, Enstone e Peterson (2005) relatam uma diminuição na espessura da endoderme do milho cv. Seneca Horizon, que poderia facilitar a difusão de oxigênio no cilindro vascular.

Observaram-se diminuição no diâmetro das células do metaxilema (DX) e aumento no número de vasos (NX) ao longo dos ciclos de seleção (Tabela 2 e Figura 2). O C18, em relação à testemunha, apresentou redução de 47,4 % no diâmetro e aumento de 59,7 % no número de vasos de metaxilema. Já com relação ao ciclo 1, o ciclo 18 apresentou redução de 42,1 % no diâmetro e aumento de 46,3 % no número de vasos. O C1 apresentou o menor valor e significativamente distinto de DX em relação aos ciclos. No NX, houve a formação de dois grupos estatisticamente distintos: C1 ao C13; e C15 ao C18.



**FIGURA 2** - Fotomicrografias de secções transversais radiculares da variedade BR 107 e ciclos 1 e 18 do milho Saracura sob alagamento intermitente. A = BR 107; B = C1; C = C18. A barra corresponde a 100  $\mu\text{m}$

Um maior número de vasos de xilema com menor diâmetro encontrado nos últimos ciclos de seleção do milho Saracura pode estar relacionado com a garantia de manutenção do fluxo de água. Todavia, em ambientes alagados, por causa da falta de oxigênio, a habilidade das raízes em absorver água é afetada (DELL'AMICO et al., 2001; TOURNAIRE-ROUX et al., 2003).

As raízes do milho Saracura com menores diâmetros de vaso de xilema e presentes em maior quantidade podem indicar alta resistência à cavitação e proteção contra embolismo. Um calibre menor de xilema pode permitir a formação de um fluxo contínuo de água devido a maior chance de a água tocar as paredes. Já um maior número de vasos pode permitir um aumento na probabilidade de a água chegar ao seu destino ou do fluxo ocorrer. Mesmas características de vasos de xilema foram observadas em estudos anatômicos com outras gramíneas (WAHL et al., 2000).

Os maiores valores na FL foram encontrados nos ciclos 17 e 18 e os menores na variedade BR 107 e no C1 (Tabela 2). O C18 apresentou um aumento na espessura do floema de 48,2 % em relação à variedade BR 107 e de 46,2 % em relação ao C1. Em plantas sob alagamento, ocorre

inibição do transporte de fotossintatos para a raiz (CHEN et al., 2005). Um tecido floemático mais espesso na raiz pode estar favorecendo a tolerância dos últimos ciclos de seleção do milho Saracura, pois contribui para um aumento do transporte do floema da parte aérea para as raízes, órgão com déficit de energia devido à troca para o metabolismo anaeróbico. Os aumentos da espessura do floema e do diâmetro do metaxilema foram também observados ao longo dos ciclos de seleção do Saracura em casa de vegetação (PEREIRA et al., 2008).

Para certas características, em alguns ciclos ocorreram maiores médias do que em outros ciclos mais avançados (Tabelas 1 e 2). Isso pode ter ocorrido devido à natureza do procedimento de seleção, pois o método de seleção utilizado no milho Saracura foi o recorrente: uma mistura balanceada de sementes do ciclo atual com o ciclo anterior é plantada em uma área de tabuleiro e submetida a encharcamento para a obtenção do novo ciclo. Portanto, nem sempre ocorrem ganhos lineares nas características.

Neste trabalho, pode-se evidenciar que, ao longo dos ciclos de seleção, foram detectadas modificações anatômicas nas raízes, como o aumento de aerênquimas, as quais confirmam a eficácia na seleção dos ciclos, assim como explicam sua maior tolerância ao encharcamento do solo.

## Referências

ARMSTRONG, W.; COUSINS, D.; ARMSTRONG, J.; TURNER, D. W.; BECKETT, P. M. Oxygen distribution in wetland plant roots and permeability barriers to gas-exchange with the rizosphere: a microelectrode and modeling study with *Phragmites australis*. **Annals of Botany**, London, v. 86, p. 687-703, 2000.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annals of Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 313-339, 2008.

CHEN, H.; QUALLS, R.G.; BALK, R. R. Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidum latifolium*. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 82, p. 250-268, 2005.

COLMER, T. D. Long-distance transport of gases in plants a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 17-36, 2003a.

COLMER, T. D. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.). **Annals of Botany**, London, v. 91, p. 301-309, 2003b.

DELL'AMICO, J.; TORRECILLAS, A.; RODRIGUES, P.; MORALES, D.; SANCHE-BLANCO, M. J. Differences in the effects of flooding the soil early and late in the photoperiod on the water relations of grown tomato plants. **Plant Science**, London, v. 160, n. 3, p. 481-487, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412 p.

ENSTONE, D. E.; PETERSON, C. A. Suberin lamella development in maize seedling roots grown in aerated and stagnant conditions. **Plant, Cell and Environmental**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 444-455, 2005.

EVANS, D. E. Aerenchyma formation. **New Physiologist**, Cambridge, v. 161, n. 1, p. 35-39, 2004.

FERNÁNDEZ, M. D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosynthetica**, Prague, v. 44, n. 1, p. 32-38, 2006.

FERREIRA, J. L.; MAGALHÃES, P. C.; BORÉM, A. Evaluation of three physiologic characteristics in four cycles of selection in maize cultivar BRS-4154 under tolerance to waterlogging of the soil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1719-1723, 2008.

GUNAWARDENA, A.; PERCE, D. M.; JACKSON, M. B.; HAWES, C. R.; EVANS, D. E. Characterisation of programmed cell death during aerenchyma formation induced by ethylene or hypoxia in roots of maize (*Zea mays* L.). **Planta**, Berlin, v. 212, n. 2, p. 205-214, 2001.

LIZASO, J. L.; MELENDEZ, L. M.; RAMIREZ, R. Early flooding of two cultivars of tropical maize. I Shoot and root growth. **Journal of Plant Nutrients**, New York, v. 24, n. 7, p. 979-995, 2001.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 269, n. 1/2, p. 45-56, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; FERRER, J. L. R.; ALVES, J. D.; VASCONSELLOS, C. A.; CANTÃO, F. R. O. Influência do cálcio na tolerância do milho 'Saracura' BRS- 4154 ao encharcamento do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 1, p. 40-49, 2007.

PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E.; LOPES, M. A.; SANTOS, M. X.; GUIMARÃES P. E. O.; PACHECO, C. A.; SOUZA, I. R. O.; MEIRELES, W.; CORREA, L. A. Seleção para tolerância ao encharcamento na variedade de milho CMS54-Saracura. In: REUNION LATINOAMERICANA, 4.; REUNION DELA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EM MAIZE, 17., 1997, Cerete y Cartagena de Ludias. **Memória...** Cerete y Cartagena de Ludias, Colômbia: CORPOICA: CIMMYT, 1997. p. 368-373.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, 2008.

PI, N.; TAM, N. F. Y.; WU, Y.; WONG, M. H. Root anatomy and spatial pattern of radial oxygen loss of eight true mangrove species. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 25, p. 222-230, 2008.

POURABDAL, I.; HEIDARY, R.; FARBOODNIA, T. Effects of three different flooding periods on some anatomical, morphological and biochemical changings in maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Asian Journal of Plant Sciences**, Islamabad, v. 7, n. 1, p. 90-94, 2008.

QIU, F.; ZHENG, Y.; ZHANG, Z.; XU, S. Mapping of QTL associated with waterlogging tolerance during the seedling stage in maize. **Annals of Botany**, London, v. 99, p. 1067-1081, 2007.

SAIRAM, R. K.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P. S.; SRIVASTAVA, G. C. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 52, n. 3, p. 401-412, 2008.

SETTER, T. L.; WATERS, I. Review of prospects for germplasm for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. **Plant and Soil**,

Dordrecht, v. 253, n. 1, p. 1-34, 2003.

SILVA, S. D. A.; SERENO, M. J. C. C. M.; SILVA, C. F. L.; OLIVEIRA, A. C.; BARBOSA. NETO, J. Inheritance of tolerance to flooded soils in maize. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2007.

SOUKUP, A.; ARMSTRONG, W.; SCHREIBER, L.; FRANKE, R.; VOTRUBOVÁ, O. Apoplastic barriers to radial oxygens loss and solute penetration: a chemical and functional comparison of the exodermis of two wetland species, *Phragmites australis* and *Glyceria maxima*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 173, n. 2, p. 264-278, Jan. 2007.

SOUKUP, A.; VOTRUBOVA, O.; CISKOVA, I. I. Development of anatomical structure of roots of *Phragmites australis*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 153, n. 2, p. 277-287, 2002.

THOMAS, A. L.; GUERREIRO, S. M. C.; SODEK, L. Aerenchyma formation and recovery from hypoxia of the flooded root system of nodulated soybean. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 7, p. 1191-1198, 2005.

TOURNAIRE-ROUX, C.; SUFKA, M.; JAVOT, H.; GOUT, E.; GERBEAU, P.; LUU, D. T.; BLIGNY, R.; MAUREL, C. Cytosolic pH regulates root water transport during anoxid stress through gating of aquaporins. **Nature**, v. 425, p. 393-397, 2003.

VISSER, E. J. W.; COLMER, T. D.; BLOM, C. W. P. M.; VOESENEK, L. A. C. J. Changes in growth, porosity, and radial oxygen loss from adventitious roots of selected mono- and dicotyledonous wetland species with contrasting types of aerenchyma. **Plant, Cell and Environmental**, Oxford, v. 23, n. 11, p. 1237-1245, 2000.

VITORINO, P. G.; ALVES, J. D.; MAGALHÃES, P. C.; MAGALHÃES, M. M.;

LIMA, L. C. O.; OLIVEIRA, L. E. M. Flooding tolerance and cell wall alterations in maize mesocotyl during hypoxia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1027-1035, ago. 2001.

ZAIDI, P. H.; RAFIQUE, S.; SINGH, N. N.; SRINIVASAN, G. Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 90, n. 2/3, p. 189-202, Dec. 2004.

ZAIDI, P. H.; MANISELVAN, P.; YADAV, P.; SINGH, A. K.; SULTANA, R.; DUREJA, P.; SINGH, R. P.; SRINIVASAN, G. Stress-adaptive changes in tropical maize (*Zea mays* L.) under excessive soil moisture stress. **Maydica**, Bergamo, v. 52, p. 159-171, 2007.

WAHL, S.; RYSER, P.; EDWARDS, P. J. Root tissue structure is linked to ecological strategies of grasses. **New Phytologist**, Cambridge, v. 148, n. 3, p. 459-471, 2000.