

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
(Organizadores)

Ciência em Foco

2019



Pantanal Editora

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
(Organizadores)

Ciência em Foco



Pantanal Editora

2019

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2019 Os Autores
Copyright da Edição© 2019 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira
Prof. Dr. Jorge González Aguilera

Diagramação: Armando Céspedes Figueredo
Edição de Arte: Amando Céspedes Figueredo
Revisão: Os Autores

Conselho Editorial

- Prof^ª. Dr^ª. Albys Ferrer Dubois – UO
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas Rodrigues Oliveira – Município de Chapadão do Sul
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFC
- Prof^ª. Dr^ª. Yilan Fung Boix - UO

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior - UNEMAT
- Esp. Maurício Amormino Júnior - UFMG

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência em foco [recurso eletrônico] / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2019.
202 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81460-00-6

1. Ciências agrárias – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharias – Pesquisa – Brasil.
I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González. III. Oliveira, Bruno Rodrigues de.

CDD 630.72

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora
Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso - Brasil
Telefone (66)99682-4165 (Whatsapp)
www.editorapantanal.com.br
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O avanço da Ciência tem promovido o desenvolvimento de inúmeras tecnologias que tende a proporcionar o incremento da produção de alimentos, a melhoria da qualidade de vida da população, a preservação e sustentabilidade do planeta. Todavia, além da geração de novos conhecimentos é necessário a dispersão para o público alvo. Algo que geralmente é negligenciado por muitos autores, pois, se limitam apenas em publicar um artigo científico.

Nesse aspecto, a “Pantanal Editora” surgiu com a missão de “publicação de trabalhos de pós-doutorado, teses, dissertações, monografias, trabalhos de conclusão de curso, ensaios e artigos científicos” com o lema "Ciência com consciência". Nossos valores são construídos sob esse alicerce. Qualidade, ética, relevância acadêmica e impacto social, norteiam nossos trabalhos. Diferentemente de outras editoras, nós procuramos pesquisadores que estejam dispostos a fazerem capítulos que passaram por revisões criteriosas e não somente aplicar o binômio pagou-publicou.

Além disso, tem como visão “A ciência é vital para o desenvolvimento humano, e seu progresso somente é possível quando apoiado sobre o conhecimento científico passado. Por isso a divulgação dos trabalhos científicos é essencial para que a ciência possa alcançar a todos, transformando nossa sociedade.”

Com base nesses pilares, a “Pantanal Editora” orgulhosamente apresenta em seu primeiro livro “Ciência em Foco”, em seus 22 capítulos, avanços nas áreas de Ciências Agrárias e da Engenharia. Conhecimento estes, que irá agregar muito aos seus leitores, entre os assuntos, adubação nitrogenada na soja, diversidade genética de cultivares de mandioca, produção de mudas, magnetismo na agricultura, técnicas de avaliação do sistema radicular das plantas, percepção ambiental de alunos, análise de gestão de resíduo sólidos, conservação de estradas, sustentabilidade e responsabilidade social. Portanto, fica evidente que essas pesquisas procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira

SUMÁRIO

Ciências Agrárias

Capítulo 1	6
Características agronômicas da soja em função da adubação nitrogenada associada à inoculação de <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	
Capítulo 2	14
Caracterização e diversidade genética de germoplasma de mandioca-de-mesa da região urbana de Chapadão do Sul, MS	
Capítulo 3	30
Caule decomposto de buritizeiro e doses de nitrogênio no crescimento de <i>Acacia mangium</i> Willd	
Capítulo 4	35
Determinação de atributos radiculares de culturas anuais através de amostras destrutivas e auxílio de aplicativo computacional para processamento de imagens	
Capítulo 5	52
Influencia del agua tratada magnéticamente en el contenido de clorofilas y formación de cristales de oxalato de calcio en bulbos de <i>Allium cepa</i> L.	
Capítulo 6	61
Influência de culturas de cobertura na emergência do fedegoso (<i>Senna obtusifolia</i>)	
Capítulo 7	69
Percepção Ambiental dos alunos do 5º ano da escola Estadual Jorge Amado em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil	
Capítulo 8	79
Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja	
Capítulo 9	91
Stimulation of physiological parameters of <i>Rosmarinus officinalis</i> L. with the use of magnetically treated water	
Capítulo 10	102
Manejo de una finca de ganado menor: desafíos del desarrollo e implementación agropecuaria en Santiago de Cuba	
Capítulo 11	120
Métodos para estudo da dinâmica de raízes	
Capítulo 12	138
Use of GREMAG® technology to improve seed germination and seedling survival	

Engenharias

Capítulo 13	150
Análise da gestão dos resíduos sólidos da construção civil: estratégias e estudo de caso no município de Nova Xavantina – MT	
Capítulo 14	159
Análise do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Nova Xavantina – MT	
Capítulo 15	170
Conservação e manutenção de estradas não pavimentadas: estudo técnico da Rodovia MT – 448	
Capítulo 16	186
Sustentabilidade e responsabilidade social: habitações populares de acordo com a NBR 15.575	

Métodos para estudo da dinâmica de raízes

Rafael Felipe Ratke^{1*}
João de Deus Gomes dos Santos Júnior²
Géssica Pereira de Souza³

INTRODUÇÃO

O sistema radicular tem papel importante no armazenamento e ciclagem da matéria orgânica e nutrientes, bem como no fluxo de energia e matéria na biosfera. O total de carbono e nitrogênio mineralizados via decomposição de raízes pode ser bem maior do que o retornado ao solo via decomposição de liteira (Lynch, 2007). O conhecimento sobre a dinâmica de raízes em sistemas agrícolas deve suportar melhores previsões dos ciclos biogeoquímicos e da produtividade. Para atingir esses objetivos é necessário quantificar e identificar funções das raízes em condições variadas de crescimento (Santos-Júnior et al., 2007).

Apesar da importância do sistema radicular como componente dos ciclos biogeoquímicos e para o crescimento vegetal (i.e. fixação, obtenção de recursos como água e nutrientes, síntese de reguladores de crescimento e armazenagem de carboidratos), muito pouco ainda é conhecido a respeito de sua dinâmica, comparativamente à parte aérea (Böhm, 1979).

O papel do sistema radicular na dinâmica da matéria orgânica no solo, na qualidade física, na armazenagem de água, na ciclagem de nutrientes e na interação com organismos do solo ainda é pouco conhecido, sendo necessários estudos para auxiliar na escolha de sistemas de manejo do solo que tenham potencial para superar o grande desafio agrônomo atual, que é otimizar o desempenho produtivo do Cerrado, com o uso sustentável dos solos em áreas já utilizadas, conservando os recursos naturais remanescentes (Santos-Júnior et al., 2007).

O movimento descendente do cálcio no perfil do solo desloca o Al do complexo de troca cuja saturação diminui, permitindo maior desenvolvimento de raízes no perfil do solo, principalmente em solos ácidos (Malavolta et al., 2006). Para superar o grande desafio

¹ Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Rodovia MS-306, Zona Rural, CEP: 79560-000, Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

² Embrapa Cerrados.

³ Universidade de Brasília (UNB).

* Autor de correspondência: rafael.ratke@ufms.br

agronômico atual, novas abordagens metodológicas relacionadas ao estudo de raízes, de caráter multidisciplinar e dinâmico, devem ser consideradas para a compreensão das relações de causa-efeito entre sistemas de manejo do solo e seus atributos químicos, físicos e biológicos. As dificuldades metodológicas relacionadas aos métodos destrutivos, dentre outras, estão relacionadas à separação das raízes de interesse do solo, bem como na identificação das metabolicamente ativas (Gregory, 2006).

Entretanto, dificuldades associadas à amostragem do sistema radicular são inerentes a qualquer método de investigação e muita atenção é frequentemente dada na discussão de prós e contras de métodos particulares e pouca para entender se determinada ferramenta é apropriada para responder às questões técnico-científicas levantadas. Todavia, o uso de métodos convencionais tem limitado o entendimento da dinâmica e função das raízes nos sistemas agrícolas e naturais (Pierret et al., 2005). Nesse aspecto, a quantificação de atributos radiculares por meio de minirhizotrons apresenta-se como uma alternativa promissora aos métodos tradicionais destrutivos (Böhm, 1979) e a outros não destrutivos, como o da capacitância elétrica (Dalton, 1995), o qual somente quantifica massa de raízes. Nesta corrente do desenvolvimento tecnológico, o uso de equipamentos de raio-x (Pierret et al., 2005), fluorescência (Feng et al., 2017), e tomografia computadorizada (Tumlinson et al., 2008), estão sendo utilizados para análise da dinâmica de raízes sem amostras conservadas de raízes com solo, ou no próprio local de cultivo da planta.

As raízes constituem cerca de 33% da produtividade primária líquida global, sendo que a entrada de carbono e nutrientes no solo, proveniente das raízes, é igual ou maior que a proporcionada pelas folhas (Hendrick; Pregitzer, 1993). Apesar de sua importância no entendimento da ecologia terrestre, ciclagem de nutrientes e carbono, poucas informações existem sobre as suas características básicas (biomassa, comprimento, área superfície) e como elas podem responder a futuras mudanças globais. Essa carência de estudos é função, principalmente, das dificuldades relacionadas com suas determinações. As raízes finas (diâmetro <2,0 mm) são as principais responsáveis pela captura de água e nutrientes desempenhando, de modo semelhante, o mesmo papel apresentado pelas folhas na captura de carbono e energia para as plantas. Enquanto as raízes finas constituem menos de 1% da biomassa total das florestas, a produção anual de raízes finas pode contribuir com mais de 50% na produção primária líquida total das plantas (Santos-Júnior et al., 2007).

As raízes de soja se restringem à camada superficial do solo nas condições da utilização dos solos de Cerrado. Dessa maneira, as plantas não podem explorar os nutrientes e a água

disponível em maior profundidade. Portanto, as plantas ficam susceptíveis a senescência em períodos de veranico, ou seja, escassez de chuva (Mascarenhas et al., 1984).

Ao avaliar a redução da toxidez de alumínio em raízes de soja por culturas antecessoras no plantio direto, Schlindwenin et al. (2003) observaram que o raio médio das raízes das plântulas de soja foi menor na solução coletada do solo cultivado com nabo forrageiro, caracterizando raízes mais finas e maior área superficial, o que é desejável para aporte de água e nutrientes, não sendo afetado pelas concentrações de alumínio até $0,15 \text{ mmol L}^{-1}$. O aumento da concentração de alumínio na solução para $0,30 \text{ mmol L}^{-1}$, provocou engrossamento das raízes e diminuição da área superficial em todos os tratamentos. A solução do solo cultivado com aveia preta propiciou pequeno crescimento das raízes da soja, especialmente a superfície radicular, mesmo com baixo alumínio, do que se conclui pela aparente ineficiência dos compostos orgânicos exsudados por essa cultura. O comprimento das raízes da soja que se desenvolveram nas soluções de solo extraídas das parcelas cultivadas com ervilhaca e aveia preta, não diferiu do solo em pousio. Observaram, também, que houve menor crescimento de raízes da soja na solução do solo de pousio, de ervilhaca e de aveia preta quando não houve adição de alumínio, e a aparente ineficiência dos compostos orgânicos exsudados pela aveia preta e ervilhaca em neutralizar o efeito do alumínio adicionado à solução do solo. O plantio direto com o uso de outras culturas e através da ciclagem de nutrientes pode neutralizar o alumínio e proporcionar maior desenvolvimento das raízes das plantas.

Avaliando a quantidade e o tamanho de raízes de milho em diferentes níveis de compactação de 5 diferentes solos com base na textura, caracterizados como Latossolo Vermelho-Escuro álico e Latossolo Roxo álico, Rosolem et al. (1999) observou-se nos solos mais argilosos com 41 e 48 % de argila, foi encontrado as menores quantidade de raízes seminais adventícias, que, nestes casos, não variou com a densidade do solo. Neste mesmo experimento foi possível verificar que no solo solto, o crescimento das raízes ocorre na interface da partícula sólida com o poro. Nos solos com 22 e 41 % de argila, respectivamente, foram os que apresentaram o maior crescimento radicular. Nos níveis de compactação intermediários, o crescimento radicular foi mais adequado nos solos mais arenosos, que apresentavam menores resistências à penetração.

Métodos de estudo da dinâmica de raízes

Estudos sistemáticos em sistema radicular começaram no Século XVIII, com a simples técnica da escavação, observando o sistema radicular de plantas cultivadas e determinando sua morfologia, peso e crescimento. Com o incremento na agricultura de fertilizantes minerais na

segunda parte do Século XIX, cientistas agrônômicos interessaram no estudo de raízes, desenvolveram outras técnicas para estudar a dinâmica de raízes no solo (Böhm, 1979).

As raízes das plantas apresentam uma estrutura complexa e variada, assim desenvolver ou definir um método para estudá-las depende do objetivo da pesquisa a ser realizada (Smit et al., 2000). A escolha do melhor método de estudo de raízes depende das investigações necessárias dentro da pesquisa. Não tem um método ideal para responder todas as questões, mas para a segurança da pesquisa é aconselhável utilizar dois métodos simultaneamente (Böhm, 1979).

Pode-se agrupar os métodos de estudos de raízes em oito grupos: Métodos de escavação, Métodos do monólito, Métodos do trado, Métodos da parede como perfil, Métodos indiretos, Métodos do contêiner, Métodos da parede de vidro e outros métodos (Böhm, 1979).

Métodos da escavação

Os métodos de escavação expõem o sistema radicular da planta “in situ” removendo o solo que cerca as raízes. A operacionalidade deste método é muito complicada e depende de equipamentos como jatos de ar ou água para expor as raízes sem prejudicá-las (Figura 1). Dependendo do objetivo do estudo, a técnica pode vir acompanhada de desenho ou tomada de imagens. É interessante por mostrar a posição e as relações das raízes expostas, e a competição intra e interespecífica (Böhm, 1979).



Figura 1. Perfil do solo sendo exposto por jato de água após a escavação do solo. (Foto disponibilizada por João de Deus Gomes dos Santos Júnior.)

A distância da planta escolhida, na qual devemos fazer a trincheira a partir da planta escolhida, é de 20-80 cm, dependendo da espécie e do estágio de crescimento. As trincheiras de 1 m de largura facilitam o trabalho e a profundidade deve ser de 20-30 cm abaixo das raízes mais profundas. As características e propriedades físicas do solo, por sua vez, a consistência como a

textura (% de areia, silte e argila) e densidade (massa/volume) do solo influenciam na dinâmica de raízes no solo (Böhm, 1979).

Método do monólito

Consiste na retirada de um volume conhecido de solo, na forma de um "bloco" de volume conhecido, no qual as raízes são separadas por meio de lavagem com água, visando a avaliação da densidade de raízes (Figura 2) (Böhm, 1979).

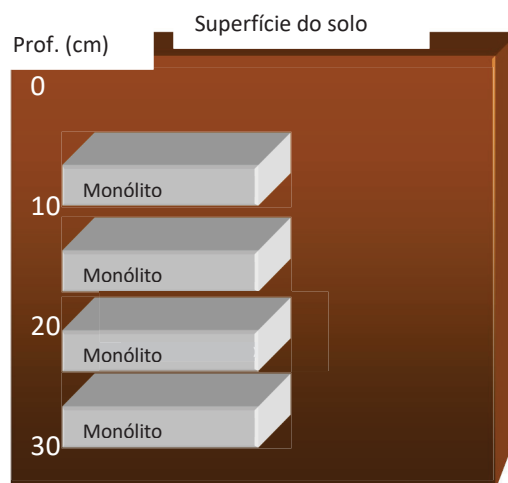


Figura 2. Esquema de observação de raízes por monólitos

Pan e Bolton (1991), acoplou um escâner à um microcomputador para análise das amostras de raízes obtidas através de monólitos. Após a coleta das amostras os monólitos eram lavados e separados as raízes, posteriormente, colocaram as raízes em uma plataforma de vidro e escanearam as raízes com um escâner de mesa. Através de um aplicativo, as imagens adquiridas foram observadas. Neste aplicativo a área bidimensional de raízes é estimada pelo escurecimento de pixels, representando uma escala de cinza, de forma individual ou em grupo. O comprimento e a espessura de raízes foram calculados em função da área e do número de pixels nos limites diagonais.

Método do trado

O método do trado (Figura 3) tem a vantagem do uso de forma localizada, sem a necessidade de grande destruição. Pode ser utilizado equipamentos motorizados para a introdução do trado ao solo e depois o fracionamento de pequenos pedaços, para avaliações posteriores. Este método também é utilizado para mensurar raízes de árvores, para isso realizam-se amostragens em esquemas radiais (Böhm, 1979).



Figura 3. Trado para coleta de solo-raiz tipo caneca (Foto: Rafael Felipe Ratke).

Rodriguez e Cadima-Zevallos (1991) usaram um trado-sonda com 5,5 cm de diâmetro, amostrando em seis camadas: 0-5, 5-10, 10-20, 20-50, 50-80, 80-100 cm de profundidade, para mensurar o número de raízes como parâmetro de avaliação do desenvolvimento do sistema radical de *Brachiaria humidicola*. Após lavagem das raízes, procede-se a contagem e a mensuração do comprimento das raízes. Através desse método, encontraram correlações positivas e diretas entre o número e comprimento de raízes.

O trado tipo caneca utilizado por Ratke et al. (2014) foi eficiente para observação de parâmetros da dinâmica de raízes em função da calagem utilizando calcário com diferentes granulometrias de calcário na cultura do milho. Após coletado as raízes foram lavadas e avaliadas por imagem obtida de escâner de mesa. Nesta pesquisa, as raízes apresentaram maior comprimento e área radicular com o uso de calcário de maior granulometria, neste experimento.

Métodos da parede como perfil

Esse método é largamente utilizado por permitir estudos simultâneos na mesma trincheira. Neste método deve-se abrir a trincheira manual, ou mecanicamente, escolher o perfil e realizar as tomadas das imagens, seja por desenho, por câmera fotográfica ou filmadora. A posição da trincheira, quando o objeto de estudo são pastagens homogêneas de gramíneas temperadas, não é importante, entretanto quando a cultura está disposta em faixas, o corte deve ser transversal as ruas de plantio (Figura 4) (Böhm, 1979).

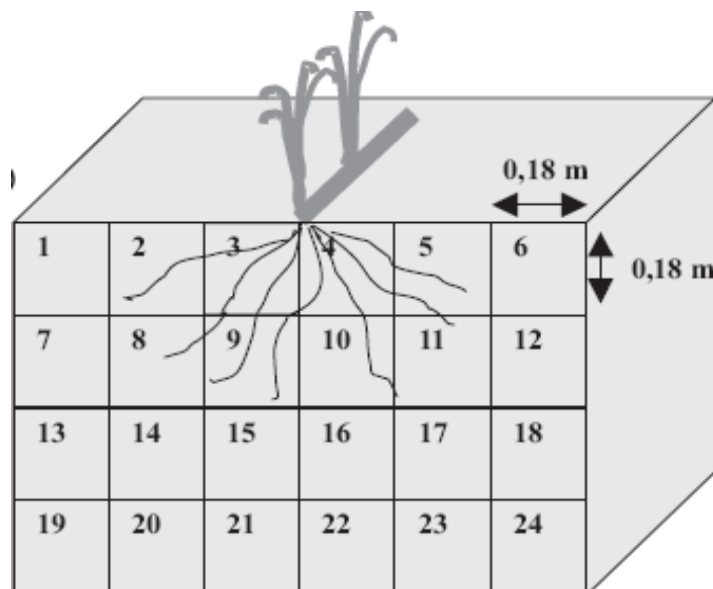


Figura 4. Esquema de observação de raízes pelo método da parede como perfil.

Para expor as raízes pode ser utilizado enxadões e instrumentos especiais. Algumas modificações têm sido feitas nessa etapa, tornando-o mais prático, como a utilização de jato d'água, com pulverizador costal. Jatos de ar também podem ser utilizados para expor as raízes, recomendados em plantas de raízes muito finas e fáceis de quebrar (Cavalho, 1999).

A fim de proporcionar um maior entendimento, após a abertura do perfil e a exposição das raízes é colocado uma moldura, por exemplo 100 x 60 cm, subdividida em vários quadrados iguais de 10 x 10 cm. A câmera toma as imagens de cada um deles separadamente. Então as imagens são digitalizadas através de placa digitalizadora e processadas por aplicativos como o SIARCS® e Safira® que possui uma ferramenta que subdivide a imagem original, em função do número de colunas e linhas desejadas, quantificando o comprimento de raízes em cada uma delas (Carvalho, 1999). O aplicativo SIARCS®, foi desenvolvido na EMBRAPA-CNPDIA, para analisar imagens de solo possibilitando a mensuração de várias características físicas do solo e raízes (Vasconcelos et al., 2003). O aplicativo Safira® também pode ser utilizado para analisar imagens de raízes (Jorge; Silva, 2010).

A distribuição do sistema radicular do milho (*Zea mays*, L.) em Terra Roxa estruturada foi avaliada pelos métodos do trado, do cilindro volumétrico e de processamento de imagens. As imagens foram adquiridas através da abertura do perfil do solo, onde foi feita uma diagramação da parede do perfil. A amostragem do sistema radicular foi definida num plano perpendicular à linha da cultura, em regiões de 20 x 20 cm, abrangendo uma área total de 100 x 100 cm. Os resultados da quantificação radicular mostraram uma maior concentração de raízes na camada de 0-20 cm, cerca de 70% de massa seca para uma presença radicular de

aproximadamente 40%. O método de processamento de imagens mostrou-se como uma ferramenta poderosa no estudo detalhado de sistemas radiculares (Fante-Júnior et al., 1994).

Os métodos indiretos

Os métodos indiretos são baseados em correlações entre a quantidade de água e nutrientes no solo e a quantificação de raízes. Outros métodos indiretos baseiam-se na translocação de substâncias químicas dentro da planta. Nestes métodos indiretamente inferimos informações sobre a distribuição do sistema radical no perfil do solo. Os métodos indiretos são indicados para estudos de ecologia de raízes, especialmente na atividade e não na quantidade absoluta de raízes no perfil do solo (Böhm, 1979).

Método por gravidade: baseado na correlação de solo-água com a quantidade de raízes presentes neste solo. Em estudos prévios com a mensuração de raízes e a quantidade de água presente no solo, são feitas correlações entre o conteúdo de raízes e o volume de água no solo, podendo depois indiretamente inferir o volume de raízes presentes no solo mensurando o volume de água presente no mesmo. A quantidade de água no solo não é uniforme, e a arquitetura das raízes segue esse padrão (Rellán-Álvarez et al., 2016). As propriedades físicas do solo influenciam no desenvolvimento gravitacional das raízes, principalmente a densidade e compactação do solo (Popova et al., 2016).

Método do nêutron: é um método direto, geraram dados confiáveis para correlações entre a quantidade de água no solo e o volume de raízes no solo. Esta correlação pode ser utilizada com a sonda de nêutrons que mensura a quantidade de água presente no solo e por correlação estima-se a quantidade de raízes neste solo. Em outros estudos foi utilizada a radiografia de nêutron para observar o desenvolvimento de sistema radicular no solo. A tomografia de computadorizada de nêutrons foi eficiente para gerar imagens de raízes de plântulas de milho e avaliar a distribuição no solo (Tumlinson et al., 2008). Rudolph-Mohr et al. (2014) utilizaram o fluxo de nêutrons e detector de nêutrons para gerar radiografias de raízes de Tremoço-Branco (*Lupinus albus*) e conciliou-o com o método de fluorescência, gerando multi-imagens das raízes, estas imagens mostraram que a dinâmica de raízes é influenciada pelo pH, conteúdo de água e oxigênio no solo. Os métodos de imagens geradas por nêutrons para estudo das raízes são importantes porque pode-se utilizar esses métodos sem desconfigurar as amostras de solo com as raízes. Porém, os equipamentos para gerar utilizam neutros são de alto valor econômico, e grandes, assim são viáveis para uso em geral.

Método da coloração: injeta-se corantes no sistema vascular da planta e observa-se sua translocação na planta, e colorindo das raízes. As raízes coradas destacam-se do solo e é possível

verificar a distribuição espacial das raízes. Este método está sendo aprimorado ao longo do tempo, ao invés de corantes comuns, pode-se utilizar nanopartículas. Karny et al. (2018) utilizaram lipossomas de 100 nm de diâmetro com corantes e nutrientes (Fe e Mg) na cultura do tomate cereja (*Solanum Lycopersicum* var. cerasiforme), e observam por microscopia que a lipossomos aplicados na folha transcolaram para a raiz após 24h, e que toda as raízes foram coradas após 96h.

Método elemento traço: injeta-se alguns elementos traços como lítio, boro ou estrôncio, e verifica sua mobilidade na planta. Porém, atualmente não se precisa da injeção de elementos traços para a observação da dinâmica de raízes. Feng et al. (2017) observaram os elementos traços: As, Ca, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, S e Zn em escala manométrica com o equipamento de fluorescência de raio-X (XRF¹³), verificando sua concentração e mobilidade na endoderme e epiderme em raízes de Capim-marinho (*Spartina alterniflora*).

Método dos marcadores radioativos: substâncias radioativas são injetadas e nas plantas e analisadas quanto sua translocação na planta, ou somente nas raízes. Após o injetar a substância radioativa, equipamentos são utilizados para visualizar e analisar esta radiação a semelhança de uma endoscopia. Os métodos indiretos que utilizam de marcadores radioativos são extremamente perigosos, mas têm a vantagem da coleta de informações sem a necessidade da separação das raízes do solo. Porém, essa técnica usa isótopos radioativos, que não podem ser manipulados sem cuidados especiais, como o controle do material manipula, seu uso e descarte, treinamento do proteção radiológica (Queijo; Menezes, 2012). Biddulph (1941), utilizando o isótopo de fosforo P³², verificou que, após 24h de sua aplicação na folha, se circulava na planta, sendo que 40% migrou durante a noite, para a raiz na planta de feijão.

O uso de outros materiais pode estimar indiretamente a quantidade de raízes no solo. No estudo de Encide-Olibone et al. (2008) foi possível verificar a atividade de raízes aplicando-se no solo nitrato de rubídio, e o mensurando na parte área de plantas de soja. A vantagem deste método é que deixa de utilizar materiais radioativos.

Método do contêiner:

O método do contêiner é utilizado para estudos de morfologia, fisiologia, bioquímica e ecologia de raiz. Os contêineres isolam os fatores ambientais que influenciam o crescimento de raízes em perfis naturais, tornando os resultados mais "limpos", pois o pesquisador pode

¹³ A radiação de elevada energia (radiação gama ou radiação X) provoca a excitação de átomos de uma substância, assim o átomo está instável, e tende a voltar ao estado natural liberando energia, é que específico a cada elemento químico. A espectrometria de fluorescência de raios-X, identifica o elemento devido a sua especificidade, verificando a energia liberada pelos átomos que as compõe (Nagata et al., 2001).

focalizar o objetivo de estudo. A facilidade de manuseio e uniformidade de ambientes entre as parcelas são as vantagens do método, pois esses trabalhos são conduzidos em laboratório e, mais comumente, em casa de vegetação, com temperatura, umidade e luminosidade controladas. Algumas desvantagens são condições limitadas ao crescimento das raízes no volume dos vasos, ausência de competição, distribuição anormal e a densidade do solo não traduz as condições de campo. Existem uma infinidade de formas (quadrada, cilíndrica, retangular), tipos (tubo, caixa, potes) e tamanhos de contêiner que são usados em experimentos de raízes (Böhm, 1979).

Visando comparar a capacidade de diferentes genótipos de penetrar em camadas compactadas, Bushamuka e Zobel (1998) utilizaram um contêiner medindo 30 cm de altura por 11,5 cm de diâmetro, com uma camada compactada artificialmente com pistão hidráulico para uma densidade de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$, enquanto a testemunha de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ de 2,5 cm a 10 cm de profundidade. Para monitoramento do crescimento e distribuição das raízes, foi utilizado radiografia de nêutrons. Nesse estudo de plântulas, houve separação de raízes em primárias (primeira raiz para emergência da epicótilo), basais (originária da base do hipocótilo ou mesocótilo, nas monocotiledôneas são as raízes seminais) e raízes laterais.

O método do contêiner pode ser utilizado para verificar o desenvolvimento de raízes de plantas em solos compactados. Nesse sentido, Jimenez et al. (2008) verificaram que a planta do milho (*Pennisetum glaucum* L.) se destacou em relação a Guandu (*Cajanus cajan*), Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) e Gergelim (*Sesamum indicum* L.) em desenvolver raízes em camadas compactadas do solo.

Método da parede de vidro

O método da parede de vidro envolve a construção de um laboratório subterrâneo, muito profundo com as paredes de vidro, como se fosse um aquário do teto ao chão. Nos arredores do laboratório são plantadas as culturas para estudos. Este método exige grandes investimentos para a sua construção. As propriedades físicas do solo interferem diretamente na sua instalação. Se o solo for raso, a perfuração da rocha é uma tarefa que não se justifica. Projetos menos audaciosos também podem usar essa técnica, montando as paredes de vidros não tão profundas, em "janelas de campo", numa espécie de trincheira coberta, para evitar a penetração de raios solares. Em ambos os casos a espessura do vidro é fundamental para o sucesso do empreendimento, recomendando-se de 5 a 10 mm, com paredes internas reforçadas (Böhm, 1979).

Cada janela, vidro com aproximadamente 50 x 50 cm, pode ser acoplada ao instrumento que auxiliam as mensuração, como por exemplo no acompanhamento do crescimento de raízes,

devemos fixar uma grade subdividida em quadrículas de, mais usualmente, 5 x 5 cm, nas quais são tomados, em cada turno, a medida do avanço sobre a superfície externa do vidro. As raízes podem ser subdivididas em categorias e acompanhadas separadamente. Tem-se então a unidade: cm de crescimento de raiz/cm²/unidade de tempo (Böhm, 1979).

Os métodos da parede de vidro foram adaptados e ficando menores, com o uso de tubos de acrílico ou vidro na linha de plantio da cultura, ao invés de placas de vidro. Este método permite a visualização do desenvolvimento e da dinâmica das raízes, sem que tenha que destruí-las a cada amostragem (Böhm, 1979).

Bush et al., (2006) observaram a dinâmica do sistema radicular de plantas de *Cyperacea* com solos níveis de saturados de água e doses de fósforo, em uma caixa construída, sendo um lado da caixa feita de acrílico transparente, onde as raízes eram observadas chamado rizotron (Figura 5) e comparado com método destrutivo, em caixas com o mesmo tamanho, o solo e a planta eram coletadas conforme o tempo de desenvolvimento, depois lavado e separada as raízes. Nas análises do desenvolvimento das plantas pelo método destrutivo e no rizotron, as duas espécies de plantas tiveram diferença significativa para níveis de água no solo e não houve resposta para as doses de P.

Os tubos de vidro e de acrílico podem ser utilizados a campo e com auxílio de um escâner apropriado que passa dentro do tubo pode-se observar a dinâmica de raízes, este método conhecido por minirhizotrons (Santos Júnior et al., 2007). Os estudos de raízes são facilitados por esse método, e tem grande vantagem de utilizar imagens sem precisar destruir as amostras, como também não precisa separar as raízes do solo. Porém, manualmente é inviável avaliar as imagens, por isso utiliza-se aplicativos de análise de imagens e próprios para estudo de raízes para avaliar a dinâmica de raízes, os aplicativos possuem licença de uso livres, como o Safira[®], ou licenças de uso pagas, como o WinRhizo[®] Tron, (<https://www.plant-image-analysis.org>). Este método foi utilizado em várias pesquisas para avaliar a dinâmica de raízes de vários tipos de plantas em diferentes solos ou tratamentos com fertilizantes (Machado; Oliveira, 2003; West et al., 2004; Pritchard et al., 2006; Ohashi et al., 2015).

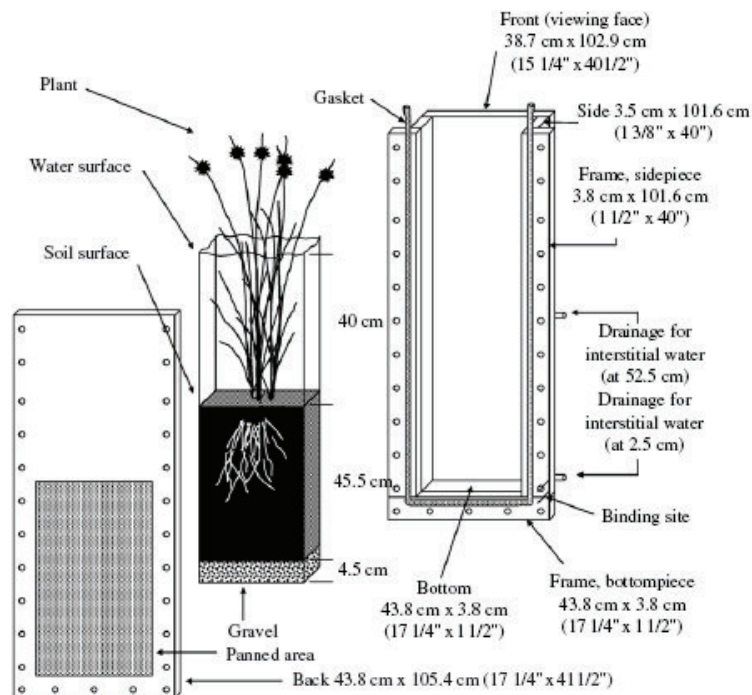


Figura 5. Estrutura de caixa de vidro para estudo da dinâmica de raízes de plantas de *Cyperacea*. (Busch, 2006).

Outros métodos

Força de fixação da raiz

São estudos relacionados a capacidade de fixação e colonização do solo, dando ideia de como as raízes romperam as camadas do solo. Esses tipos de testes são fáceis, rápidos e baratos de serem realizados, devendo ser rotina na avaliação entre cultivares, pois um cultivar com uma maior força pode ter rompido camadas adensadas ou compactadas, ter tido uma colonização mais segura do solo. Isto pode ser visto como qualidade das plantas cultivadas, que foram melhoradas pelo homem e perderam parte dessa capacidade, enquanto desvantagem como em plantas invasoras. A aparelhagem envolvida seria uma simples máquina que puxaria a planta do solo, medindo a força necessária para arrancá-la. Nesse método, a estrutura e o conteúdo de água no solo, no momento da amostragem são fundamentais na avaliação dos resultados. O melhor momento da realização do teste é após uma chuva pesada ou irrigação (Böhm, 1979).

Aglomerção de raiz

Semelhante ao método anterior, ou seja, a observação do ancoramento da planta. Consiste, após a retirada da planta, verificar a massa de solo agregadas ou ainda presas a planta. É um método indireto da resistência de tensão de raízes, muito relacionado com o estágio de desenvolvimento da planta e maturação das raízes (Böhm, 1979).

Força de tensão das raízes

Método que consiste em obter dados quantitativos das culturas cultivadas e a medição da força de tensão de raízes individuais. As raízes após lavadas e retirada todas as partículas de solo, são conservadas em uma solução a 10% de álcool ou 5% de formol. Depois são colocadas num simples aparelho de medição da força de tensão de raízes, instrumento constituído de duas presilhas, nos quais a raiz está presa, sendo um lado fixo, enquanto o outro é trazido em sentido oposto, até o rompimento da raiz (Böhm, 1979). Destaca-se a pesquisa Cofie e Koolen (2001), utilizando este método verificaram as raízes de faia-europeia (*Fagus sylvatica L.*) possuem, em geral, a tensão de raízes semelhante a fibra têxteis, rompendo-se de 8 a 20% para o alongamento de 10 para 400 mm.

Método da sacola de malha

Consiste na escavação de buracos de 30 cm de profundidade por 10 cm de diâmetro, nos quais são inseridos justamente uma sacola de malha, preenchida de solo, são colocados ao redor da planta. Após um período pré-determinado, as sacolas são retiradas e as raízes são separadas por meio de lavagem. Esse teste pode ser usado em larga escala e nesses sacos devem ser colocados diferentes tipos de solos, diferentes daquele no qual a planta está inserida, verificando a preferência da planta (Böhm, 1979).

Pelo radiculares

A rizosfera tem uma importância fundamental no estudo de raízes, pois é a área superficial de exploração dos pelo radiculares, responsáveis da absorção de água e adsorção de cátions. Apesar de pequenos, contribuem na ancoragem da planta no solo, pois estão entremeados na estrutura do solo. A maioria dos estudos com pelo radiculares usam substratos artificiais ou água ao invés de solo. Em estudos de campo, após a lavagem e separação das raízes, essas são colocadas em solução alcoólica para posterior observação em microscópio óptico e/ou eletrônico. Existe a possibilidade do cálculo da área superficial dos pelo, mensurando o diâmetro e comprimento dos mesmos (Böhm, 1979). Em um trabalho sobre o papel fisiológico dos gradientes de cálcio citoplasmático no crescimento de pelo radiculares, Bibikova e Gilroy (1997), utilizaram de imagem por radiometria para monitorar o Ca^{++} , visualizando todo o desenvolvimento de pelo radiculares, desde sua iniciação, sucessão de crescimento e paralisação. Os autores realizaram a primeira observação antes da formação do pelo, ou seja, de 30 a 40 minutos antes do início da emergência, observando-se o indicativo do inchaço local das células.

Uma vez iniciada, foi mensurado o crescimento, calculando-se um índice de crescimento. Processo com resultados rápidos e aplicáveis a dinâmica de nutrientes disponíveis no solo.

Métodos de estudos microbiológicos

Característica fundamental nas leguminosas, a formação de nódulos indica a simbiose com bactérias fixadoras de N do ar atmosférico, fornecendo-o para a planta hospedeira e para o solo. Os estudos de fixação de N podem ser sobre: época de nodulação, relacionado com a fenologia ou características ambientais; e das características intrínsecas ao nódulo (como forma e coloração interna). Para tanto, método como parede de vidro é recomendada. No campo microbiológico, tem-se os estudos de isolamento das estirpes bacterianas, determinação de suas espécies, simbiose com fungos micorrizicos, pragas e doenças radiculares (Böhm, 1979).

A colonização de fungos micorrizicos (*Glomus etunicatum*) promoveram aumento da massa seca e quantidade de raízes primárias e secundárias de milho, entretanto doses de P diminuíram a presença deste fungo na rizosfera (Bressan; Vasconcellos, 2002). A infecção por Bactérias fixadoras de nitrogênio influencia a morfologia da raiz e atividade metabólica da mesma principalmente de hormônios como a citocianina (Miri et al., 2016).

Método de Tennant

O método Tennant (Tennant, 1975), conhecido também pelo método de intersecção, é utilizado para avaliar o comprimento das raízes. Neste método, coloca-se as raízes em uma bandeja com uma placa de vidro na parte inferior, com 1 cm de altura, e abaixo da bandeja uma folha de papel com malha de 1 cm x 1 cm, coloca-se as raízes limpas de solo na bandeja com um pouco de água, e conta-se as intersecções que as raízes com os quadrículos das malha. A seguinte equação é utilizada para gerar o comprimento de raízes.

$$R = n/4 * N * G$$

em que: R = comprimento das raízes (cm); $n = \pi$ (pi), 3,1416; N = número de intersecções; e G = unidade da malha.

A bandeja pode ser fotografada ou escaneada e utilizada as imagens para análise das intersecções. Imagens escaneadas de raízes de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) para estimar o comprimento radicular, sendo observado o comprimento de 27.968,9 km ha⁻¹ de raízes finas (Witschoreck et al., 2003).

Método volumétrico

O método volumétrico, mede-se o volume de raízes separada do solo, com auxílio de uma proveta graduado, geralmente de 1000 mL, desta forma, coloca-se as raízes amostradas dentro da proveta e verifica-se o deslocamento de água, o volume deslocada, será o volume de raízes em cm³, sendo 1 cm³ igual a 1 mL, considerando a densidade da água igual a 1 (Basso, 1999). Este método prático e simples, e posteriormente ao volume, pode-se avaliar o comprimento e área de raízes medindo-se com régua graduada o comprimento. Santana et al. (2003) e Colombo et al. (2013) avaliaram o volume radicular de plantas de arroz e milho, respectivamente, pelo método volumétrico e descrevem que os volumes de raízes no solo foram influenciados pelo conteúdo de fósforo e alumínio no solo, nestas pesquisas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de estudo da dinâmica de raízes são largamente estudados e utilizados. A utilização de cada sistema depende do que se pretende avaliar em relação à dinâmica de raízes. O uso de cada sistema também depende de fatores extrínsecos ao estudo desejado como capital de investimento para a utilização de cada método. Todos os métodos descritos mostram grau de dificuldade de operacionalidade. Os equipamentos específicos empregados em cada método têm um custo elevado e demandam mão-de-obra. Estas dificuldades acabam dificultando o estudo da dinâmica de raízes em culturas anuais. Os métodos destrutivos, e manuais de estudos de raízes são utilizados pelo baixo custo de equipamentos. Os métodos não destrutivos das amostras e por imagens são os melhores para avaliação da dinâmica de raízes. Em função da evolução tecnológica, a captura de imagens de raízes foi facilitada, e aplicativos foram aperfeiçoados para avaliar os parâmetros radiculares das raízes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basso SM (1999). Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. e *Lotus* L. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 268p.
- Bibikova TN, Gilroy S (1997). The role of cytoplasmic calcium gradients in directing root hair growth. In: Flores HE, Lynch JP, Eissenstat D. Radical biology: advances and perspectives on the function of plant roots. Proceedings. *Annual Penn State Symposium in Plant Physiology*. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Maryland USA. 11: 402-404.
- Biddulph O (1941). Diurnal Migration of Injected Radiophosphorus from Bean Leaves. *American Journal of Botany*, 28(4): 348–352.

- Böhm W (1979). *Methods of studying root systems*. Editora: Springer-Verlag, Berlin. 188 p.
- Bressan W, Vasconcellos CA (2002). Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(9): 509–517.
- Busch J, Mendelssohn IA, Lorenzen B, Brix H, Miao SL (2006). A rhizotron to study root growth under flooded conditions tested with two wetland Cyperaceae. *Flora*, 201(6): 429-439.
- Bushamuka VN, Zobel RW (1998). Differential genotypic and root penetration of compacted soil layers. *Crop Science*, 38(3): 776-781.
- Carvalho MCS (1999). Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo. *Tese (Doutorado)*. Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz". Piracicaba. 101 p.
- Cofie P, Koolen AJ (2001). Test speed and other factors affecting the measurements of tree root properties used in soil reinforcement models. *Soil and Tillage Research*, 63(1): 51–56.
- Colombo GA, Vaz-de-Melo A, Taubinger M, Faria EA, Tavares RC (2013). Fenotipagem de genótipos de milho em condições de estresse por alumínio e sua correlação com produtividade de grãos. *Agrarian*, 7(23): 60–71.
- Dalton FN (1995). In-situ root extent measure by electrical capacitance methods. *Plant and Soil*, 173(1): 157-165.
- Encide-Olibone AP, Olibone D, Rosolem CA (2008). Atividade radicular da soja: Definição de um método. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 32(2): 899–903.
- Fante-Junior L, Reichardt K, Jorge LAC, Crestana S (1994). Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. *Scientia Agrícola*, 3(51): 513-518.
- Feng H, Qian Y, Cochran JK, Zhu Q, Hu W, Yan H, Li L, Huang X, Chu YS, Liu H, Yoo S, Liu CJ (2017). Nanoscale measurement of trace element distributions in *Spartina alterniflora* root tissue during dormancy. *Scientific Reports*, 7(1): 1–12.
- Gregory P (2006). *Plant roots*. Oxford: Blackwell. 328 p.
- Hendrick JJ, Pregitzer KS (1993). Patterns of fine roots mortality in two sugar maple forest. *Nature*, 361(6407): 59-61.
- Jimenez RL, Gonçalves WG, Araújo Filho JV, Assis RL, Pires FR, Silva GP (2008). Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(2): 116–121.
- Jorge LAC, Silva DJCB (2010). *SAFIRA: Manual de utilização*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 99p.

- Karny A, Zinger A, Kajal A, Shainsky-Roitman J, Schroeder A (2018). Therapeutic nanoparticles penetrate leaves and deliver nutrients to agricultural crops. *Scientific Reports*, 8:1–10.
- Lynch JP (2007). Roots of the Second Green Revolution. *Australian Journal of Botany*, 55: 493-512.
- Machado RMA, Oliveira MDRG (2003). Comparison of tomato root distributions by minirhizotron and destructive sampling. *Plant and Soil*, 255(1): 375–385.
- Malavolta E (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres. 638 p.
- Mascarenhas HAA, Camargo EO, Falivene SMP (1984). Efeito do alumínio sobre o crescimento de raízes, peso seco da parte aérea e raízes de diferentes cultivares de soja. *Bragantia*, 43(1): 191-200.
- Miri M, Janakirama P, Held M, Ross L, Szczyglowski, K (2016). Into the Root: How Cytokinin Controls Rhizobial Infection. *Trends in Plant Science*, 21(3): 178–186.
- Nagata N, Bueno MIMS, Peralta-Zamora PG (2001). Mathematical methods to correct spectral interferences and interelemental effects in x-ray fluorescence quantitative analysis. *Quimica Nova*, 24(4): 531–539.
- Ohashi AYP, Matos Pires RC, Ribeiro RV, Oliveira Silva ALB (2015). Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. *Bragantia*, 74(2): 1–9.
- Pan WL, Bolton RP (1991). Root quantification by edge discrimination using desktop scanner. *Agronomy Journal*, 83(6): 1047-1052.
- Pierret A, Moran CJ, Doussan C (2005). Conventional detection methodology is limiting our ability to understand the roles and functions of fine roots. *New Phytologist*, 166(3): 967-980.
- Popova L, Dusschoten DV, Nagel KA, Fiorani F, Mazzolai B (2016). Plant root tortuosity: An indicator of root path formation in soil with different composition and density. *Annals of Botany*, 118(4): 685–698.
- Pritchard SG, Prior SA, Rogers HH, Davis MA, Runion GB, Popham TW (2006). Effects of elevated atmospheric CO₂ on root dynamics and productivity of sorghum grown under conventional and conservation agricultural management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113(1-4): 175–183.
- Queijo DA, Menezes VO (2012). Medidas de proteção radiológica ocupacional para isótopos radioativos de alta energia e medicina nuclear convencional. *Anais...In: XXVI Congresso Brasileiro de Medicina Nuclear*.
- Ratke RF, Pereira HS, Santos-Júnior JDGS, Frazão JJ, Barbosa JM, Dias BO (2014). Root Growth, Nutrition and Yield of Maize with Applied Different Limestone Particle Size in the Cerrado Soil. *American Journal of Plant Sciences*, 5(4): 463–472.

- Rellán-Álvarez R, Lobet G, Dinneny JR (2016). Environmental control of root system biology. *Annual Reviews Plant Biology*, 67(1): 1–26.
- Rodrigues ACG, Cadima-Zevallos A (1991). Número de raízes como parâmetro de avaliação do desenvolvimento do sistema radicular de *Brachiaria humidicola* em solos de tabuleiro do sul da Bahia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26(7): 1091-1095.
- Rosolem CA, Fernandez EM, Andreotti M, Crusciol CAC (1999). Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(5): 821-828.
- Rudolph-Mohr N, Vontobel P, Oswald SE (2014). A multi-imaging approach to study the root-soil interface. *Annals of Botany*, 114(8): 1779–1787.
- Santana EP, Santana EVP, Fageria NK, Freire AB (2003). Utilização de fósforo e características do sistema radicular e da parte aérea da planta de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, 27(2): 370–381.
- Santos-Júnior JDG, Sá MAC, Ferreira EAB, Resk DVS, Lavres-Júnior J (2007). *O sistema minirhizotrons no estudo da dinâmica de raízes*. Planaltina: Embrapa Cerrados. 24p.
- Sch lindwein JÁ, Nolla A, Anghinoni I, Meurer EJ (2003). Redução da toxidez de alumínio em raízes de soja por culturas antecessoras no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociência*, 9(1): 85-88.
- Smit AL, Bengouch AG, Engels C, Noordwijk MV, Pellerin S, Geijin SCV (2000). *Root methods: a handbook*. Editora: SPRINGER, Berlin. 587p.
- Tennant DA (1975). Test of a Modified Line Intersect Method of Estimating Root Length. *Journal of Ecology*, 63(3): 995–1001.
- Tumlinson LG, Liu H, Silk WK, Hopmans JW (2008). Thermal Neutron Computed Tomography of Soil Water and Plant Roots. *Soil Science Society of America Journal*, 72(5): 1234-1242.
- Vasconcelos, ACM, Casagrande, AA; Perecin, D, Jorge LAC, Landell MGA (2003). Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 27(5): 849–858.
- West JB, Espeleta JF, Donovan LA (2004). Fine root production and turnover across a complex edaphic gradient of a *Pinus palustris*-*Aristida stricta* savanna ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 189(1-3): 397–406.
- Witschoreck R, Schumacher MV, Caldeira MVW (2003). Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em. *Revista Árvore*, 27(2): 177–183.