



PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.

Disponível em: <<https://doi.org/10.31533/pubvet.v02n10a394>>.

Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras¹

Adriane de Andrade Silva² e Celso Antonio Jardim³

¹ Trabalho apresentado como parte das exigências da disciplina tópicos especiais em sistemas radiculares, ministrada por Markus Liedgens.

² Zootecnista, MSc em Ciências Veterinárias (Produção Animal) e Doutoranda do programa de Pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP- Campus Jaboticabal)

³ Engenheiro agrônomo, Msc em Produção Vegetal – Professor Colégio técnico UNESP, Jaboticabal

1- INTRODUÇÃO

Até recentemente, a biologia da região do solo influenciada pelas raízes, a rizosfera, era relativamente negligenciada. Atualmente o estudo de sistemas radiculares é colocado como fator importante em qualquer sistema agrícola, pois o seu papel está relacionado a fatores como sustentação da parte aérea das plantas, absorção de nutrientes, associação com micorrizas e produção de metabólicos.

Porém, em experimentos que abranjam informações sobre o sistema radicular, observa-se problemas relacionados à dificuldade de condução em uma condição representativa da realidade dos sistemas produtivos, perdas na

separação das frações do sistema radicular, falta de uma normatização experimental, onde muitas adaptações metodológicas são realizadas, além de serem experimentos muito dispendiosos de tempo e manipulação de dados.

As principais plantas forrageiras são pertencentes às famílias das gramíneas e leguminosas, somente esta separação já poderia ser considerada um fator de enorme diversidade entre os materiais a serem avaliados. Assim como em outros sistemas agrícolas, as pastagens apresentam grandes interações solo x planta x ambiente sendo que o fator animal também precisa ser considerado. Os estudos do sistema radicular em plantas forrageiras devem colaborar para aumentar os conhecimentos das interações existentes, em pastagens nativas, cultivadas, consorciadas, sob pastejo intensivo ou não e não devem desconsiderar a problemática da degradação.

Não pretende-se esgotar o assunto, mesmo porque em pastagens estima-se que menos de 10% dos estudos mundiais, tenham feito medições diretas da produção da biomassa subterrânea (Scurlock e Hall, 1998). O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão de literatura sobre estudos de sistemas radiculares em pastagens.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

Os processos fisiológicos, anatômicos do sistema radicular são tratados em livros referências (APPEZATO e CARMELO, 2003; Taiz e Zeiger, 2004), e não são alvos de divergências entre os pesquisadores. Já aspectos morfológicos e de distribuição radicular das gramíneas forrageiras, são constantemente questionados, citados e muitas vezes relacionados em estudos à fertilidade do solo, avaliação física do solo (descompactação, penetração de horizontes sub-superficiais), acúmulo de matéria orgânica, resistência a fatores de estresse ambiental (seca, alagamento, gelo), o estabelecimento de associações simbióticas com microrganismos do solo, entre outros efeitos.

O solo pode impor limitações ao sistema radicular, Hopkins, (1995), relacionou como fatores externos relacionados ao sistema radicular: aeração

(necessário para a respiração das raízes que gera energia para o processo metabólico, demonstrando a necessidade de manutenção de estrutura, porosidade do solo adequada ao desenvolvimento do sistema radicular), temperatura (normalmente entre 0 e 30° C aumenta a quantidade de íons absorvidos em decorrência do aumento da atividade metabólica), umidade (uma vez que a água é o veículo dos nutrientes), nutrientes e íons (que penetram nas células obedecendo a ordem de preferencialidade de troca de anions e cátions; e as relações de antagonismos, inibições e sinergismos) e segundo Fitter, 1999, os insetos, fungos, bactérias e outros organismos do solo.

O solo possui padrões próprios de variabilidade espacial que são caracterizados por gradientes de propriedades físicas e químicas. Superpostos à variabilidade endógena dos sistemas radiculares das plantas geram um forte correlação. Nicollaud *et al.*, 1994 descrevem que em solos com diferenças texturais bem marcadas na vertical, as diferenças na distribuição da densidade radicular e que as mesmas podem ser correlacionadas com fatores climáticos através de estudos de modelagem.

Nesse sentido avaliando horizontes texturais pedológicos diferentes, Carvalho *et al.* 2002, observaram com a presença de um horizonte coeso, a distribuição espacial do sistema radicular das espécies estudadas (7 leguminosas e 2 gramíneas) seguem um padrão: o horizonte Ap concentra em torno de 65% do raizame; o horizonte AB apresenta valores próximos a 25%, enquanto o horizonte BW₁, concentra aproximadamente, 10% do sistema radicular. Brasil, 2001, também caracterizou em seu experimento os horizontes pedológicos, porém como as características são arenosas não promoverem barreiras físicas para a biomassa radicular de *Brachiaria humidicola*, estas se concentraram 93,5% horizonte Ap a E, textura arenosa, e 4,7% horizonte E a E_{tx}, franco arenoso e 1,8% no horizonte argilo-franco arenoso.

A impedância mecânica do solo provoca alterações na morfologia do sistema radicular tais como o engrossamento radial dos eixos e o crescimento

tortuoso (Costa *et al.*, 2000). Para pastagens tem sido adotado valor de resistência a penetração (RP) de 2,5 MPa como limitante para o crescimento radicular (Imhoff *et al.*, 2000).

A maior porosidade decorrente da formação de agregados implica uma diminuição na densidade do solo na rizosfera (DERNER *et al.*, 1997). Neste sentido a atividade radicular contribui para a estruturação do solo e formação de bioporos. Costa (2005), observou maior agregação no solo sob *Brachiaria decumbens* que recebeu adubação orgânica, porém não observou diminuição da densidade do solo, acreditando ser necessário um tempo maior de observação para que este atributo seja alterado.

As raízes das gramíneas forrageiras podem ajudar no processo de estabilização dos agregados do solo (Doormar e Foster, 1971), pois as raízes produzem exudados que são agentes cimentantes e assim aumentam a estabilidade de agregados, além de aumentar ou conservar o teor de matéria orgânica no solo através de sua decomposição.

Conforme Silva e Mielniczuk (1998), a estabilidade dos agregados do solo tende a aumentar mais em solos sob gramíneas do que em solos sob leguminosas, onde a estabilidade estrutural dos agregados no solo foi de 0,213 a 0,324 (solo descoberto), 0,426 a 0,712 (*Digitaria decumbens* L.), 0,530 a 0,690 (*Setaria anceps* L) e de 0,255 a 0,453 (*Macroptilium atropurpureum* L.) e o diâmetro médio geométrico dos agregados obtidos por via úmida de 0,784 a 0,1138; 1,482 a 2,823; 2,098 a 2,968; 1,012 a 1,578 respectivamente.

A habilidade de ocupação espacial do solo depende de várias características das raízes, incluindo taxa de crescimento relativo, biomassa, densidade de pêlos radiculares e área superficial total (CASPER e JACKSON, 1997). Ricaurte *et al.*, 2000, estudaram em solos colombianos com 43 a 46% de inclinações íngremes, o uso de capim elefante (*Pennisetum purpureum*), que promoveu uma biomassa de raízes de 9,3 t ha⁻¹ se tornando uma barreira eficaz na redução de erosão do solo.

Os sistemas radiculares são estruturas ramificadas complexas que variam no espaço e no tempo (Bengough *et al.*, 2000), o que tem implicações

diretas sobre a metodologia de estudo. Tanto mais em pastagens de gramíneas perenes e/ ou compostas por espécies diversas, pois o entrelaçamento das raízes de múltiplos perfilhos e plantas, velhas e novas, vivas e mortas, intactas e em decomposição formam um tapete denso e complexo de difícil distinção (Steen, 1984; Fitter *et al*, 1996).

Tabela 1 – Distribuição percentual de matéria seca de sistema radicular em função da profundidade

Espécie	Prof. (cm)	%	Referência
<i>Brachiaria humidicola</i>	0-20	78,80	Brasil, 2001
	20-40	14,70	
	40-70	6,50	
<i>Brachiaria humidicola</i>	0-16	66	Carvalho <i>et al</i> , 2002
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	0-20	75	Rao <i>et al</i> . citado Brasil 2001
<i>Brachiarias sp.</i>	0-30	80	Gueni, Marin e Baruch, (2002)
<i>P.maximum</i> cv. tanzânia	0-20	76	Pagotto, 2001
<i>P. purpureum</i> cv.Cameroon	0-16	87	Carvalho <i>et al</i> , 2002
<i>Avena strigosa</i> Schreb "Aveia Preta"	0-20	90	Merten e Mielniczuk (1991)
<i>Aveia forrageira</i>	0-20	89 a 96	Fante Junior <i>et al</i> . (1999)
<i>Crotalaria juncea</i>	0-16	56,1	Carvalho <i>et al</i> , 2002
<i>Guandu</i>	0-16	71,1	Carvalho <i>et al</i> , 2002
Calopogônio	0-16	64,6	Carvalho <i>et al</i> , 2002

No caso das pastagens de gramíneas estoloníferas de hábito prostrado as plantas estão muito próximas entre si e se dispersam em todas as direções na superfície solo; conseqüentemente a densidade radicular varia principalmente na direção vertical (Bengough et al, 2000). Kanno *et al.*, 1999, também observaram a tendência da redução de biomassa com o decréscimo da profundidade avaliada.

Brasil, 2001 observou em uma pastagem as raízes finas (diâmetro radicular < 0.8 mm) contribuíram com mais de 90 % do comprimento radicular nas camadas de 0,0 - 0,1 m, e 0,6 - 0,7 m. As raízes médias e grossas contribuíram, com menos de 4 % ao comprimento radicular na camada superficial do solo, porém aumentou com a profundidade. Resultados semelhantes foram observados por Vogt *et al.*, (1998) e McCully, (1999) que concluem que as raízes finas são responsáveis pela maior parte do comprimento do sistema radicular, tanto em espécies anuais como perenes (sistemas agroflorestais).

Hur e Scott, (2003), para determinar a zona de crescimento radicular sob pastagens, utilizaram rhizotrons e avaliação em situação de campo, em três regiões da Nova Zelândia, observaram que a maioria das raízes se concentra na camada de 15 a 30 cm sendo que o rhizotron demonstrou a mesma tendência entre as regiões de observação à campo.

Oliveira (2000) em pastagens de *Brachiaria brizantha* (4 meses e 13 anos após implantação), observou a biomassa seca de raízes grossas e médias predominou sobre as finas, independentemente da idade da pastagem e profundidade de amostragem (entre 0 - 0,4 m), esse resultado é diferente do observado por Brasil 2001, que observou uma maior contribuição das raízes finas.

Quadros *et al.*, 2004, estudando a leguminosa *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão observou que a MS de raízes grossas (> 2 mm) de 0 a 30 cm de profundidade não foi afetada pela intensidade ou pela época de desfolha (média de 2,28 g de raízes/dm³ de solo). No entanto, a MS de raízes finas diminuiu drasticamente com a sucessão dos cortes. Após o primeiro corte

houve uma redução de 20,8 % em média na MS de raízes finas. Após o segundo e terceiro cortes a redução foi maior, com 42,1% e 45,0 %, respectivamente. RODRIGUES et al. (2001) observaram redução acentuada na densidade de raízes dos cultivares Highworth e Rongai de *Lablab purpureus* (L.), com o aumento da profundidade do solo, sendo de 10,8 cm cm³ na camada superficial (0-20 cm) e de 1,75 e 1,28 cm cm³ na camada de 60-80 cm, respectivamente.

Rao (1998), observou em *Brachiaria dicytoneura*, *B. dicytoneura* + *Centrosema actifolium* (leguminosa) e pastagem nativa, respectivamente 5,7, 3,8 e 1,4 t ha⁻¹, para a biomassa de raízes de 0-80 cm.

Fernandes (2001), observou em três cultivares de alfafa (Medicato Sativa L.), a profundidade de 40-60 cm aos 70 dias, e de 80-100 cm aos 124 dias após a semeadura. As maiores densidades foram observadas na camada de 0-20 cm sendo a média aos 70 dias de 0,921 cm cm³ e aos 124 dias 1,405 cm cm³ e observou-se nodulação em ambas as cultivares.

White et al., 2003, em *B. humidicola* que enraíza a 2,5 m (diminui a drenagem profunda a 50mm anuais), comparados com plantas anuais que enraízam somente a 0,8 m (diminui a drenagem profunda de 70-200mm anuais), observou que o tipo de solo influenciou o uso da água e a profundidade de enraizamento.

Kramer (1983) considera que a capacidade das raízes em absorver água e nutrientes não aumenta em proporção ao aumento do comprimento ou da área radicular, pois enquanto as novas raízes com alta capacidade de absorção estão sendo produzidas, raízes mais velhas se tornam menos permeáveis. Em estudos sobre capacidade de absorção do sistema radicular, o comprimento e a área superficial das raízes são parâmetros importantes (Rossiello et al, 1995).

Hur e Scott, 2003 observaram aumento na densidade de raízes com uso de fertilizantes e irrigação, Gregory (1994) aponta o comprimento, massa e superfície radicular, associados a concentrações dos nutrientes do solo como o complexo mais confiável para correlacionar os atributos de absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular de plantas forrageiras.

Hopkins (1995) apontou como fatores internos relacionados ao sistema radicular: o estado iônico interno (se os sítios disponíveis para troca estiverem tomados ou o suco celular estiver saturado, diminui-se absorção), potencialidade genética (capacidade de absorção varia com as espécies e dentro da espécie, mesmo em condições iguais devido a seletividade), pH (valores mais ácidos facilitam a absorção de anions e próximos a neutralidade de cátions)

Monteiro *et al.* (1995), estudaram as interações da omissão de cada nutrientes em solução nutritiva para a *Brachiaria brizantha*, observaram que somente o cálcio e o potássio não influenciaram a produtividade de MS da parte aérea e de raízes, os demais nutrientes avaliados apresentaram redução na matéria seca de raízes de 98,31% para o N, 92,04% para o P, 69,84% para o Mg e de 40,0% para o S, em relação a utilização da solução nutritiva completa.

Cecato *et al.* 2004, não observaram diferença ($P > 0,05$) na massa seca de raiz pela aplicação de níveis crescentes de nitrogênio e fósforo, apresentando 319,4; 332,5; 329,1; 309,2 e 272,7mg cm³, respectivamente para os níveis de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Entretanto, para os níveis de 0, 200, 400 e 600 kg ha⁻¹ de N os valores foram 645,7; 1250,6; 2085,2 e 3149,5mg cm³ de raiz, respectivamente.

O estresse de fósforo e demais nutrientes, provoca crescimento rápido e substancial das raízes, essa é uma adaptação da planta para maximizar a absorção de P em solos deficientes deste elemento (Carvalho *et al.*, 1993). Resultados similares foram obtidos por Christe e Moorby (1974), em que à medida que aumentaram a concentração de P observaram uma redução na proporção da matéria seca das raízes. No capim buffel (*Cenchrus ciliaris*), o sistema radicular representou 49, 7 e 5% do peso total da planta em concentrações de 0,003, 3,0 e 30 mg kg⁻¹ de P, respectivamente.

Singh e Sales, 2002, avaliaram em pastagens de leguminosas (*clovers*) em condições de stress hídrico que o P disponível para a planta oriundo da solução do solo foi requerido principalmente pela freqüente desfolhação e

influenciou reduzindo o crescimento das raízes, que assim explorou o P em uma superfície reduzida. Secundariamente as condições de seca do solo aumentam a tortuosidade da rota reduzindo a taxa de difusão de P às raízes, sendo necessário um maior aporte de P.

Rossi e Monteiro (1999) estudando a *Brachiaria decumbens* observaram um aumento linear no crescimento da parte aérea e de raízes com o aumento da dosagem de fósforo a partir dos 19 dias, enquanto no capim colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), o crescimento foi observado já aos 13 dias.

Fitter (1999) observou uma redução na longevidade de raízes com a aplicação de fertilização nitrogenada quando comparadas a outras que não receberam este nutriente. Vantini (2002) observou variação na massa seca da raiz do capim tanzânia (*Panicum maximum*) de forma linear com o aumento das dosagens de N aplicados e a densidade de comprimento de raiz. Mesmo comportamento foi observado por Santos Junior (2001) em *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu.

Para as raízes submetidas a diferentes doses de enxofre Santos e Monteiro (1999), observaram um incremento de produção de matéria seca da ordem de 39%, entre a dose 0 e a de 80 mg de S L⁻¹. A resposta linear apresentada pelo sistema radicular às doses de enxofre indicam que o *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu pode produzir mais massa de raízes a concentrações mais elevadas de enxofre na solução que as utilizadas neste estudo. Este efeito de linearidade na produção de matéria seca das raízes deve ser considerado como informação relevante para a definição de um programa de manejo mais adequado, quanto ao uso de fertilizantes contendo enxofre.

Dawson *et al.*, 2002, verificaram que a aplicação conjunta de cal e nitrogênio reduziu a longevidade das raízes, aumentando o aporte de C e N ao solo pela decomposição das raízes. Krift e Berender, 2002, também observaram redução da longevidade radicular em solos mais férteis. Por outro lado, Kanno *et al.*, 1999, estudaram a *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens* e o *Panicum maximum* cv. Tanzânia e cv. Tobiatá e *Andropogon Gayanus* cv.

Baeti, espécies representativas do cerrado brasileiro, e observaram que a biomassa radicular aumenta como incremento de fertilidade do solo.

A relação parte aérea/raízes é de suma importância em plantas forrageiras, pois, durante o período de estacionalidade da produção, todas as reservas produzidas pela parte aérea são armazenadas na base do caule e das raízes. Essas reservas terão importância fundamental no vigor da rebrota das plantas forrageiras, porém não se têm informações sobre a relação ótima para cada espécie forrageira (Abreu, 1993).

A interdependência entre sistema radicular e parte aérea se evidencia a partir da separação funcional: as raízes absorvem água e íons (em geral nutrientes) enquanto a parte aérea é responsável pela assimilação de carbono e absorção de energia. Assim a redução do funcionamento de uma das partes da planta geralmente resulta em redução na taxa de crescimento da outra parte, se todos os fatores atmosféricos e edáficos permanecerem constantes.

A razão da parte aérea e raiz relacionaram-se de forma quadrática com as doses de N, na média das idades avaliadas, com o valor máximo na dose de 250 mg dm³ (Vantini, 2002). A redução na produção de matéria seca após o pastejo, ou por stress ambiental reduz de maneira drástica o sistema radicular, o perfilhamento, a expansão de folhas nova e as reservas de carboidratos nas raízes (CORSI E NASCIMENTO JÚNIOR, 1994).

De modo geral, o vigor da rebrota após a desfolha está relacionado com a velocidade de recuperação da área foliar e a intensidade de crescimento do sistema radicular. Dovrat *et al.*, 1981, observaram em *Chloris gayana* uma redução na matéria seca de raízes proporcional à intensidade da desfolha e a rebrota foi acompanhada de comportamento similar, em que o acréscimo do sistema radicular foi relativamente constante e proporcional ao crescimento da parte aérea. Ou seja, observa-se um equilíbrio funcional entre o sistema radicular e o crescimento da parte aérea após o stress do pastejo, durante a rebrota. Meirelles (1993), observou que quando a produção de matéria seca total diminui sensivelmente, a ponto de ser notada visualmente, a planta

forageira já reduziu drasticamente o seu sistema radicular. Essa visão aparentemente antagônica entre Drovat *et al.* (1981) e Meirelles (1993), está relacionada ao fato do primeiro processo ocorrer em decorrência do processo natural de translocação de carboidratos de reserva das raízes para as lâminas foliares no processo fisiológico das forrageiras enviarem para o sistema radicular as reservas para a perpetuação da planta durante esses períodos de estresse prolongados, e o outro ocorrer em uma situação de degradação do sistema de pastagens.

Humpherys (1991), relatou que a translocação de carboidratos de reservas das raízes e da base da planta em direção aos meristemas influencia o crescimento somente de maneira transitória e pouco significativa. Evidencia-se que a rebrota das plantas forrageiras sejam dependentes dos carboidratos de reserva até que a área foliar formada sejam suficientes para atender as necessidades do perfilho.

As raízes possuem papel fundamental como órgão de reserva, fundamentais para a manutenção da planta nos períodos de stress. Avaliando o armazenamento de nutrientes nas raízes Dyer *et al.* (1991), observaram em duas variedades da *Panicum coloratum* L. que a variedade mais adaptada ao pastejo, produziu e armazenou mais carboidratos nas folhas e menos nos colmos e ocorrendo a translocação de carboidratos para as raízes, estas passaram a funcionar como principal órgão de reserva.

A redução da densidade de raízes e dos teores de reservas orgânicas pode indicar uma baixa adaptação da planta forrageira ao manejo, principalmente considerando a intensidade, frequência e a época de desfolha (BURT *et al.*, 1983).

Carvalho *et al.* (2001), estudaram em Coast-cross, Tifton 85 e Florakirk (*Cynodon sp.*) os teores de carboidratos não estruturais (CNE) nas raízes aumentaram a partir de meados da primavera (novembro) superando aqueles observados na base do colmo desse período em diante. Esse padrão de comportamento sugere que os diferentes cultivares possuem variações sazonais quanto à alocação preferencial de fotoassimilados para seus

diferentes órgãos de reserva. Possivelmente, isso indica a existência de um mecanismo que as plantas utilizam para garantir sua sobrevivência durante o período de inverno, bem como uma preparação para o florescimento, evento fenológico que demanda um grande suprimento energético (Smith, 1972).

A quantidade de carboidratos não estruturais (CNE) nas raízes esteve diretamente relacionada com a quantidade de raízes existentes. Assim, maiores massas de raízes determinaram as maiores quantidades de CNE.

Tabela 2 – principais espécies de plantas forrageiras e adaptações a solos sujeitos a alagamento e inundação

Planta Forrageira	Adaptação
capim-rabo-de-rato ¹ (<i>Hymenachne amplexicaulis</i>)	Presença de aerênquima e emissão de raízes adventícias
<i>Andropogon gayanus</i> e <i>Echinochloa polystachya</i> (canarana verdadeira) ²	Fechamento rápido estômatos, reduzindo a condutância estomática e taxa de fotossíntese líquida.
<i>Brachiaria mutica</i> , <i>Echinochloa polystachya</i>), <i>B. brizantha</i> cv. Marandu ³	Desenvolvimento de raízes adventícias e tecidos arenquimáticos
<i>Brachiaria arrecta</i> (tanner-grass), <i>Setaria anceps</i> , <i>Panicum repens</i> , <i>Hemarthria altíssima</i> , <i>Brachiaria humidicola</i> ²	Difundidas entre produtores e técnicos para uso em áreas de baixada, sujeitas a inundação ou alagamento temporário.

1 - Kibbler e Bahnisch, 1999 2 -Dias-Filho, 2005 3 -Dias-Filho e Carvalho, 2000.

Rao *et al.* (1992) observaram que nas plantas forrageiras tropicais ocorre maior crescimento relativo do sistema radicular em detrimento da parte aérea, quando em stress nutricional, o que resulta em baixas taxas de crescimento.

Humphreys e Robison (1966), observaram em *P. maximum* var. Trichoglume, que uma redução de 8% na produção de matéria seca da parte aérea reduziu em 3,38 vezes o sistema radicular.

A eficiência de forrageiras em explorar recursos é importante para sua capacidade competitiva e está diretamente relacionada com a capacidade de responder às variações na disponibilidade de recursos no ambiente (plasticidade morfológica e fisiológica) através, por exemplo, da proliferação de raízes finas ou do aumento do influxo de nutrientes em locais do solo com maior disponibilidade nutricional. As adaptações morfológicas ao estresse ambiental é uma importante característica dos sistemas radiculares.

Dias-Filho (2002), avaliando o impacto de solos alagados e drenados durante 14 dias, em cinco acessos de *Brachiaria brizantha*, observou diferenças na matéria seca de raízes sob alagamento e drenado entre os acessos, e desenvolvimento de raízes adventícias sob alagamento. Essa adaptação fisiológica segundo Kibbler e Bahnisch (1999) é considerado um dos maiores atributos na adaptação a alagamentos. De acordo com Armstrong *et al.*, (1994) a tolerância ao alagamento depende da formação de raízes adventícias com aerênquima (tecido permeado por grandes espaços de ar, sua formação é considerada uma adaptação a hipoxia, para as espécies que vivem em ambientes alagados).

Dias-Filho e Carvalho (2000) e Holanda (2004) observaram redução na produção de raízes sob alagamento do solo de 72% para *Brachiaria brizantha*, e de 53% para *Brachiaria decumbens* e *B. humidicola*, 41% em *Panicum maximum* cv. Tanzânia, enquanto nas demais cultivares Massai, Mombaça e Milênio essa redução variou entre 50 e 54%.

Em situação de estresse a seca Guenni, Martin e Baruch (2002), observaram redução na biomassa da raiz em Brachiarias. Em uma comparação entre espécies apresentando desenvolvimento do sistema radicular contrastante (por exemplo, *Festuca arundinacea* com raízes profundas e pouco ramificadas na camada superior do solo e *Dactylis glomerata*, com um sistema radicular superficial e muito ramificado) demonstra que, em condições secas, a

vantagem do sistema radicular mais profundo para aquisição de água pode ser totalmente compensado pela desvantagem da aquisição menos eficiente de N e minerais na camada superior do solo (LEMAIRE e DENOIX, 1997).

Leach (1968) constatou embora a alfafa (*Medicago sativa*) apresente elevado rendimento quando irrigada, apresenta boa resistência à seca devido ao seu sistema radicular profundo. Quadros et al, 2004, observaram que a sucessão dos cortes e a diminuição da precipitação pluviométrica reduziram a massa e densidade de raízes fina de *Sytylosanthes guianensis* v. Mineirão que não foram afetadas pelo aumento da intensidade de desfolhação (de 30 para 15 cm).

Em sistemas consorciados a competição entre os sistemas radiculares de duas plantas depende do grau de sobreposição das suas zonas de captação de recursos do solo. Além disso, a competição só será relevante quanto a disponibilidade de nutrientes for limitante (MORRIS e MYERSCOUGH, 1991), o que em ecossistemas naturais e em muitas situações agrícolas é a regra. Quanto mais carbono a planta investe no sistema radicular, tanto maior será a sua capacidade de exploração radicular e, portanto, de competição com outras plantas. Tilman, 1999, observou alta correlação entre a biomassa radicular e a capacidade competitiva.

A utilização e a persistência de leguminosas forrageiras em pastagens, um fator importante para a nutrição de ruminantes, na medida que incorporam nitrogênio por fixação biológica ao sistema (PEREIRA, 2001), depende, entre outros fatores, da área de solo explorado pelo sistema radicular. As leguminosas de porte sub-arbustivo e arbustivo possuem raízes que exploram camadas de solo mais profundas do que as gramíneas, contribuindo para a reciclagem de nutrientes, para a habilidade competitiva e para a tolerância à seca (CROWDER e CHHEDA, 1982). Sanfort *et al.*, 2003 sugerem que o consórcio de forrageiras leguminosas C3 e gramíneas C4 aumentam a produção de forragem devido à exploração mais completa do solo.

Scheffer-Basso *et al.* 2002, observaram em 5 leguminosas forrageiras (*Adesmia latifolia*, *A. punctata*, *A. tristis*, *Lótus corniculatus*, *L. uliginosus*)

diferenças de alocação de biomassa de raízes entre as espécies rizomatosas (20,80 a 24,39%) e estoloníferas (12,07 a 14,77 %). A menor alocação de biomassa em raízes nas espécies estoloníferas é um fator que merece especial atenção e, assume relevância para a persistência de leguminosas (Kendall et al.,1994). Ainda foi estimada a relação raiz: parte aérea é observou-se que as espécies rizomatosas apresentavam maior relação que as estoloníferas com valores de 0,27 a 0,34 a 0,14 a 0,20, respectivamente. Harris et al. (1983) observaram que os cultivares com maior e mais equilibrada relação raiz:parte aérea (RPA), formam uma população mais apta a persistir sob condições adversas.

As raízes de leguminosas por processo simbiótico com bactérias do gênero *Rhizobium* formam nódulos onde se efetua a fixação do nitrogênio, que é utilizado pela leguminosa e cujo excesso é fornecido ao ecossistema principalmente na rizosfera (MITIDIERI, 1983). Peltzer e Wilson (2001), verificaram um efeito deletério do pastejo sobre a associação de micorrizas e as raízes das plantas, prejudicando a absorção dos nutrientes necessários para a recuperação da planta.

A morfologia radicular das gramíneas forrageiras pode propiciar, efeitos no estabelecimento de associações micorrízicas (Tisdall, 1996). As micorrizas são bastante efetivas em algumas espécies de gramíneas forrageiras tropicais, notoriamente no gênero *Brachiaria* sp. (Howeler et al, 1987, Siqueira e Moreira, 1997). Em *B. decumbens* e *B. humidicola* Boddey e Victoria (1986) observaram que estas podem suprir parte do seu requerimento em N através de processos de fixação associativa de nitrogênio, como a fixação biológica de nitrogênio de 5 a 7 kg N ha⁻¹ mês.

Junior et al., 2004 identificaram que a bactéria *A. amazonense* encontra-se associado a *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens* e *B. humidicola*, com números variando de 10³-10⁷ células g⁻¹ de raízes frescas.

A remoção de 80% das folhas de plântulas de Alfafa (*Medicago sativa*) reduziu a capacidade de fixação de nitrogênio em 90% em 24 horas. Esta redução varia com a idade da planta e com o nível de desfolha. A recuperação

da função nodular ocorreu simultaneamente com a renovação da área foliar (Heichel, 1983).

A *Medicago sativa* L., produz substâncias solúveis em água que são tóxicas para si (autotoxicidade) e para outras espécies (alelopatia), inibindo o crescimento radicular. Hedge e Miller (1992) avaliaram através de microscopia eletrônica a redução em 46% na densidade e 54% no comprimento dos pêlos das raízes.

O efeito do pastejo tem sido estudado principalmente sobre aspectos de estruturação de solos, pouco tem sido avaliado especificamente do ponto de vista do sistema radicular, que é afetado de forma diferenciada pelo consumo da pastagem (desfolha), e pelo pisoteio dos animais.

O pisoteio realizado em condições de elevada umidade segundo Silva *et al.*, 1997 maximiza a degradação física do solo, prejudicando o crescimento das plantas e impacta o sistema radicular através da compactação do solo (BAVER *et al.* 1972).

Willart e Pullar, 1983 assinalaram as pressões aplicadas no solo para bovinos da raça Jersey o valor de 0,2 MPa, para caprinos e ovinos de 0,06 e 0,08 MPa respectivamente. São também descritos na literatura valores que variam de 0,25 a 0,49 MPa para bovinos entre 400 e 500 kg, podendo atingir a profundidades de 5 a 10 cm (CARVALHO, 1976 e PROFFITT *et al.*, 1993). Stepherson e Veigel, 1987, observaram que pastagem de *Medicago sativa* e *Bromus biebersteinii* necessitaram um período de 16 meses após o pastejo para que a recuperação da densidade do solo nos piquetes alcançasse 92% em relação a testemunha.

Imhoff *et al.* 2000, observaram em *Penisetum purpureum* (capim elefante) sob pastejo rotacionado intensivo que tanto a resistência a penetração quanto a densidade do solo foram menores sob touceiras, o que foi atribuído à maior produção de biomassa vegetal e ao menor pisoteio nessa posição. Leão, 2002 avaliou no sistema de pastejo contínuo que a densidade do solo e o intervalo hídrico ótimo (IHO) não foram influenciados pela adubação; o efeito da adubação nas características físicas do solo deverá ser

observado somente à longo prazo. Leão (2000) também observou que o intervalo hídrico ótimo (IHO) foi restritivo no sistema de pastejo rotacionado, em que onde o resíduo de pastejo foi maior (3,0 a 3,5 Mg MST ha⁻¹) o IHO não foi influenciado pela posição de amostragem e onde o resíduo foi menor (2,0 a 2,5 Mg MST ha⁻¹) houve diferença na posição espacial. Na comparação entre o pastejo contínuo e o pastejo rotacionado o pastejo contínuo foi menos influenciado pelo IHO, porém deve-se levar em consideração que os sistemas foram manejados com taxas de lotação muito diferenciadas de 1,65 UA em média no pastejo contínuo e de 4,12 UA no pastejo rotacionado.

Em sistemas de pastejo intensivo a probabilidade de que ocorra pisoteio repetidamente no mesmo local aumenta, promovendo acréscimos na densidade do solo que variam de 7 a 18% (Willatt e Pullar, 1983).

Milne e Hayde (2004) observaram que ocorre maior resistência a penetração na profundidade de 0-30 cm, tanto em pastagens perenes Kikuyu, (*Pennisetum clandestinum*) como nas com rotação de culturas (*Lolium*). Sendo o uso de pastagem na rotação de cultura reduz a resistência a penetração na profundidade de 10-20 cm, aumento a condutividade hidráulica, a permeabilidade de ar, a densidade e comprimento de raízes.

Skinner *et al.*, 2002, constataram que a biomassa de raízes é maior e mais concentrada próximo a superfície de solo sob pastejo quando comparado em solo não pastejado e não observaram em piquetes pastejados efeito da irrigação na biomassa radicular.

Um novo paradigma que pode alavancar o estudo do sistema radicular, apesar de não ser o objetivo principal dos sistemas de pastagens, que é a produção de forragem a partir da parte aérea das plantas, estas também podem acumular quantidades significativas de carbono no perfil do solo, num processo conhecido como "seqüestro de carbono". Alguns estudos têm indicado que além das florestas, as pastagens podem ser utilizadas com sucesso para o seqüestro de carbono com uma taxa estimada de 1,7 t C ha ano⁻¹ (Metting *et al.*, 1999). Fisher *et al.*, (1994), mostraram que o estoque total de carbono de solos sob pastos de *B. humidicola* (incluindo-se, portanto o C

contido no sistema radicular) foi 27% superior no perfil de 0 - 0,8 m, do que o observado em uma savana nativa da Colômbia.

A contribuição dos sistemas radiculares de gramíneas perenes ao estoque de carbono do solo é superior aos aportes feitos por cultivos agrícolas anuais, que variam de 900 a 3000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Van Veen *et al.*, 1989). De fato, tem sido estimado globalmente que enquanto nos agroecossistemas, um máximo de 20 % da produção anual do C da planta é incorporada à fração estável da matéria orgânica do solo, nas pastagens nativas esse valor pode estar acima de 40 % (Buyanovsky e Wagner, 1995). Rao, 1998 estimou que um pasto de *Brachiaria dicytoneura* acumulou 31,6 t de carbono orgânico a mais no solo que uma pastagem nativa durante os 32 primeiros meses do seu estabelecimento.

HANADA, 2004, em estudo com o uso de imagens de satélite, infere um valor estimado de profundidade radicular, de por exemplo 4,0m (floresta) e 0,7 m (pastagem), e através da cobertura vegetal avalia possíveis alterações na biomassa vegetal, onde florestas estão sendo substituídos por áreas de pastagens, por exemplo.

Sendo assim, é necessário o conhecimento para decidir qual método de avaliação do sistema radicular, é necessário ponderar sobre os objetivos do trabalho, e as condições em que ela se desenvolve serão abordados alguns parâmetros observados mais freqüentemente em estudos com plantas forrageiras.

A densidade radicular é altamente responsiva a flutuações do ambiente edáfico e às propriedades físico-químicas da matriz do solo. A extração de amostras com cilindros metálicos de volume conhecido é o método mais usado, e considerado como padrão (Bengough *et al.*, 2000). A distribuição da densidade radicular da pastagem de *Brachiaria humidicola* mostrou um acentuado declínio com a profundidade, decrescendo de 173,5 para 4,85 m dm⁻³ entre 0,1 e 0,7 m, (Brasil, 2001), sendo está uma característica da maioria dos sistemas radiculares.

Tabela 3 - Compilação de valores observados na literatura relacionados a parâmetros do sistema radicular em plantas forrageiras

Parâmetro	Unidade	Valores	Espécie - Autor
Massa seca de raízes	g dm ⁻³	2,07 -2,48 (grossas) 0,14 - 0,17 (finas)	<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão ¹ <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão ¹
Massa de raíz	mg cm ³	0,37 a 0,63	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania ⁶
Diâmetro médio de raízes	(mm)	0,44 - 0,45 (finas)	<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão ¹
Densidade radicular	cm cm ⁻³	0,51 -0,75 (finas) 0,20 -0,57 2,01 - 6,00 2,42 - 5,22	<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão ¹ Macropitium atropurpureum L. Siratro ⁷ <i>Digitaria decumbens</i> L. "Pangola" ⁷ Setaria anceps L.), ⁷
Densidade radicular	kg m ³	0,07 a 5,52 0,14 a 2,11 0,09 a 1,07 0,11 a 1,84	Cameroon ⁵ <i>Calopogonio</i> ⁵ <i>Crotalaria juncea</i> ⁵ <i>Brachiaria humidícola</i> ⁵
Área radicular	cm ² dm ⁻³		
Comprimento radicular específico	m g ⁻¹	21,1 - 34,1	<i>Brachiaria humidícola</i> ²
Comprimento de raíz	cm cm ³	0,58 a 8,08	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania ⁶
Superfície de raíz	cm ² cm ³	94,33 a 1556	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania ⁶
Relação raiz: parte aérea	%	11,94 - 16,89	6 genótipos de <i>avena sativa</i> (aveia) ³
Relação parte aérea: raiz	g g ⁻¹	5,9 5,1 1,8	Cameroon ⁵ <i>Calopogônio</i> e <i>C. Juncea</i> ⁵ <i>B. Humidícola</i> ⁵
Biomassa radicular	kg m ³	0,389 -1,132	<i>P. purpureum</i> Schum.cv. 'Mott' ⁴

¹ -Quadros et al. 2004; ²- Brasil, 2001;³ - Oliveira et al. 2001;⁴ - Almeida et al., 2000; ⁵ - Carvalho et al. 2002; ⁶ - Pagotto, 2001; ⁷- Silva e Mielniczuk, 1998;

Estudos ligados à produtividade MS demandarão dados sobre as quantidades totais de biomassa e sua partição entre parte aérea e raízes (Roberts *et al*, 1993).

A biomassa radicular é, em geral, um parâmetro menos adequado para a estimativa da capacidade de absorção de água ou nutrientes do que a densidade de comprimento (cm cm^{-3}) e ou superfície ($\text{cm}^2 \text{cm}^{-3}$).

Comprimento radicular específico é a relação entre o comprimento e a massa seca radicular e serve como um indicador do diâmetro radicular (Fitter, 1991).

Algumas considerações sobre metodologias para análise do sistema radicular podem também colaborar para o seu estudo em sistemas de pastagem. De acordo com Smit (2000), Apesar da existência de uma ampla diversidade de técnicas propostas para o estudo de sistemas radiculares, estas continuam a ser tão demoradas e laboriosas quanto o eram à época da publicação do manual "Methods of studying root systems" (Böhm , 1979).

É conveniente que a estrutura total do sistema radicular seja conhecida antes de se proceder um estudo quantitativo no campo (Bengough *et al*, 2000). Para esse propósito, a criação de planos de observação, através da escavação de trincheiras é hoje, como desde os primeiros relatos destes estudos, a alternativa mais adequada, pois a visualização direta propicia uma estimativa rápida da distribuição relativa do sistema radicular (Bohm, 1979) bem como indicar padrões espaciais de distribuição radicular e de possíveis fatores físicos, químicos e biológicas do seu condicionamento. A principal desvantagem é que a escavação de grandes volumes de terra não é uma prática bem-vinda em muitas situações, especialmente tratando-se de pequenas parcelas experimentais (van Noordwijk *et al*, 2000).

Todos os métodos de avaliação da estrutura e função de sistemas radiculares em condições de campo estão baseados no princípio de separação e lavagem das raízes do solo no qual crescem (Bohm, 1979), e, portanto são de natureza destrutiva, tanto para o sistema radicular em estudo como para o ambiente imediato (Kolesnikov, 1971; Oliveira *et al*, 2000).

Bengough *et al* (2000) mencionem que os problemas com o método de amostragem com cilindros metálicos com volume conhecido estão relacionados a perdas significativas de raízes finas (até 30 %), diferenças de densidade do solo, ou mesmo a habilidade e critério utilizado no momento da coleta. Não existe uma recomendação para o volume de solo a ser amostrado. Cada pesquisador utiliza o seu próprio critério. Cecato *et al.* (2004) utilizaram-se para a determinação da massa seca de raízes tubos cilíndricos de aço com 40cm de comprimento e 3 polegadas de diâmetro, Carvalho *et al.* (2001) com 50 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro e Quadros *et al.*, (2004) com diâmetro interno de 20 cm.

De acordo com Bengough *et al* (2000), em pastagens, os coeficientes de variação para massa seca radicular com o uso de cilindros metálicos observados na literatura oscilam tipicamente entre 30 e 50 %, podendo variar até 100 %, independentemente do número de amostras utilizadas.

Após a coleta observam-se muitas diferenças e adaptações no acondicionamento das amostras: Cecato *et al.*, (2004) usaram sacos de polietileno com água, o que não é usual, uma vez que após normalmente as amostras são lavadas sob água corrente, com auxílio de peneira de malhas variadas para evitar perdas de raízes finas. Quadros *et al.* (2004) realizaram a conservação das raízes em geladeira, sendo também freqüente o congelamento das amostras em câmara fria após a lavagem, ou mesmo antes da lavagem e secagem.

A determinação de MS é realizada em estufa de ventilação forçada por 72 horas na estufa a 55°C, temperatura mais freqüente entre os trabalhos revisados, porém observou-se também uso de 105°C por duas horas e após reduz para 65°C, o uso da secagem em estufas em valores inferiores a 65°C é para evitar perdas de nitrogênio por volatilização.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

3- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J.G. **Influência da profundidade de semeadura e da pressão de compactação no solo, sobre a emergência da *Brachiaria brizantha* STAPF cv. Marandu.** 1993. 65 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

ALMEIDA, E.X.; MARASCHIN, G.E.; HARTHMANN, O.E.L.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; SETELICH, E. A. Oferta de Forragem de Capim-Elefante Anão 'Mott' e a Dinâmica da Pastagem. **Rev. bras. zootec.**, 29(5):1281-1287, 2000.

APPEZATO, B. da G.; CARMELO, S.M. G. **Anatomia vegetal** 4.ed. Viçosa: UFV, 2000. Appezato-da-Gloria, B. & Carmelo-Guerreiro, S.M. (eds). 2003.. UFV, Viçosa. 438p.

ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**. v.43, p.307-358, 1994.

BAVER, L. D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil Physic**, 4 ed. New York: John Wiley, p. 498, 1972.

BENGOUGH, A.G.; CASTRIGN, A.; PAGÉS, L.; VAN NOORDWIJK, M. Sampling Estrategies, scaling and statistics. *In*: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) **Root methods: a handbook**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.147-174, 2000.

BODDEY, R. M & VICTORIA, R. L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses, using 15N-labelled organic matter and fertilizer. **Plant Soil**. V. 90, p.265-292, 1986.

BOHM, W. **Methods of studyind root systems**. New York, Springer-Verlag, 1979. 194p.

BORDELEAU, L.M.; PRÉVOST, D. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. **Plant Soil**, v. 161, p. 115 0125, 1994.

BRASIL, Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005, Ministério do meio ambiente, CONAMA, 2005.

BRASIL, F. C. **Estudo de características morfológicas radiculares de uma pastagem de *Brachiaria humidicola* com auxilio de análise digital de imagem.** 2001, p. 136 (dissertação de mestrado em Ciências do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

BRENDOLAN, R. A.; PELEGRINI, T. M.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos da nutrição mineral na competição inter e intraespecífica de *Eucalyptus gandi* e *Brachiaria decumbens*: 1 - crescimento. **Scientia Florestalis**. n. 5, p. 49-57, 2000.

BURT, R.L.; CAMERON, D.G.; CAMERON, D.F. et al. *Stylosanthes*. *In*: BURT, R.L.; ROTAR, P.P.; WALKER, J.L. et al. The role of centrosema, desmodium, and stylosanthes in improving tropical pastures. **Boulder: Westview Press**, p. 141-181,1983.

BUYANOVSKY, G. A. & WAGNER, G.H. Soil respiration and carbon dynamics in

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. *PUBVET*, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

parallel native and cultivated ecosystems. In: **Soils and Global Change** (Eds) LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. p. 209-217. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 1995.

CHAMBERS, B.J. SMITH, K.A., PAIN, B.F. Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures. **Soil Use Management**, 16:157-161, 2000.

CARVALHO, C.A.B.; SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; et al. Carboidratos não estruturais e acúmulo de forragem em pastagem de *Cynodon* spp. sob lotação contínua, **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.667-674, 2001.

CARVALHO, M. M. et al. Efeito da calagem e da fertilização com fósforo sobre o crescimento do capim gordura em um solo da zona Campos das vertentes, MG. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.22. n.4. p. 614-23, 1993.

CARVALHO, S.R. **Influencia de dois sistemas manejo de pastagens na compactação de uma terra roxa estruturada**, 1976, p.89 (Dissertação de mestrado) Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

CARVALHO, S.R.L.; REZENDE, J.O.; FERNANDES, J.C.; PEREIRA, A.P. Caracterização e avaliação de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano – etapa 1 **Magistra**, Cruz das Almas - BA, v. 14, n. 1, jan./jun., 2002.

CASPER, B.B. e JACKSON, B.R. Plant competition underground. **Annual reviews Ecology Systemic**. v. 28, p. 545-570, 1997.

CECATO, U.; PEREIRA, L. A. F.; GALBEIRO, S.; et al.; Influência das adubações nitrogenada e fosfatada sobre a produção e características da rebrota do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf cv. Marandu), **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 399-407, 2004.

CHRISTE E MOORBY; 1974 In: CROWDER, L. V.; CHEDA, H.R. **Tropical grassland husbandry**. London:Longman, p. 361, 1982.

CLARK, R. B.; ALBERTS, E.E.; ZOBEL, R.W.; SINCLAIR, T. R.; MILLER, M. S.; KEMPER, WS. D.; FOY, C. D. Eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides*) root penetration into and chemical properties of claypan soils. **Plant and Soil**. V. 200, p. 33- 45, 1998.

CORSI, M.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicados ao manejo das pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. da (Ed.). **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: Fealq, 1994. p.15-48.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; HAMILTON, R. I.; HAMEL, C.; NANTAIS, L.; SMITH, D. L. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis. **Agronomy Journal**, 92: 621-627, 2000.

CRAINE, J.M.; LEE, W.G. Covariation in leaf and **root** traits for native and non-native **grasses** along an altitudinal gradient in New Zealand. **Oecologia**; 134(4): 471-478, 2003.

CROWDER, L.V.; CHHEDA, H.R. **Tropical Grassland Husbandry**. New York: Longman, .p.562,1982.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. *PUBVET*, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

DAWSON, L. A; MARRIOTT,C.A; GRAYSTON, S.J., et al.; Influence of root herbivory and soil fertility on pasture root system growth and dynamics. Multi function grasslands: quality forages, animal products and landscapes **Proceedings of the 19th General Meeting of the European Grassland Federation**, La-Rochelle, France, May/2002.; p.672-673,2002.

DERNER, J.D.; BRISKE, D.D.; BOUTTON, T. W. Does grazing mediate soil carbon and nitrogen accumulation beneath C₄ Perennial grasses along environmental gradient ? **Plant soil**, Dordrecht, v. 191, n.2, p. 147-146, 1997.

DIAS-FILHO, M.B. Opções forrageiras para áreas sujeitas a inundação ou alagamento temporário. In: PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C. de; DA SILVA, S.C.; FARIA, V.P. de (Ed.). 22o Simpósio sobre manejo de pastagem. **Teoria e prática da produção animal em pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2005, p.71-93.

DIAS-FILHO, M.B.; Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, V.37, p. 439-477, 2002.

DIAS-FILHO, M.B. Competição e sucessão vegetal em pastagens. In: PEREIRA, O.G.; OBEID, J.A.; FONSECA, D.M. de; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do (Ed.). 2º **Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**. Viçosa: UFV; DZO, 2004, p.251-287.

DIAS-FILHO, M.B.; CARVALHO, C.J. Physiological and morphological responses of *Brachiaria* spp. to flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1959-1966, out. 2000.

DOORMAR, J.F.; FOSTER, R.C. Nascent aggregates in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) **Can.J. Soil Sci.** v.71, p.465-474, 1971.

DYER, M. I.; ACRA, M. A.; WANG, G. M. Source sink carbon relation in two *Panicum coloratum* ecotypes in response to herbivory. **Ecology**, new York, v.72, n. 4, p.1472- 1483, 1991.

FANTE JUNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; BACCHI, O.O.S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.1091-1100, out./dez. (suplemento) 1999.

FERNANDES, A.C. **Avaliação do crescimento inicial da parte aérea e do sistema radicular de três cultivares de alfafa (medicato sativa L.)**, 2001, (dissertação de mestrado) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, p. 61, 2001.

FISHER, M.J.; RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; LASCANO, C.E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J. & VERA, R.R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. **Nature** 371:236-238, 1994.

FITTER, A. H., SELF, G.K., WOLFENDEN, J. VAN VUUREN, M.M.I.; BROWN, T. K., WILLIAMSON, L.; GRAVES, J.D.; ROBINSON, D. Root production and mortality under elevated atmospheric carbon dioxide. **Plant and soil**. V.187, p.299-306, 1996.

GREGORY, P. J. Root growth and activity. IN: **Physiology and determination of crop yield**, MADISON:ASA/CSSA/SSSA, 1994. p.65-93.

GUENNI, O.; MARIN, D.; BARUCH, Z.; Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. **Plant and Soil**, 243(2): 229-241,2002.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

HANADA, L.C. **Mudanças do uso da cobertura do solo na fronteira agrícola da Amazônia ocidental, bacia do Ji-Paraná - Rondônia.** Piracicaba, 2004. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

HEDGE, R.S.; MILLER, D.A. Scanning electron microscopy for studying root morphology and anatomy in alfafa autotoxicity. **Agron. J**, V. 84, p. 618-20, 1992.

HEICHEL, G.H. alfafa In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. **Crop-water relations.** New York:John Wiley, cap. 4, p. 128-55, 1983.

HOFFMANN, C. R. *et al.* O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um solo sa região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, n.19, p.79-86, 1995.

HOLANDA, S.W. da S. **Tolerância de quatro cultivares de *Panicum maximum* Jacq. ao alagamento.** 38f. 2004. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2004.

HOPKINS, W. E. **Introduction to plant physiology.** New York: John Wiley, 1995. 464p.

HOWELER, R. H.; SIEVERDING, E. SAIF, S. practical aspect of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil.** V.100, p. 249-283, 1987.

HUR, S.N.; SCOTT, D. Effect of growth environment on the root development of pasture species. II. Root distribution under contrasting field situations. **Journal of the Korean Society of Grassland Science**, 23(2): 91-94,2003.

HUMPHREYS, L.R. Effects of defoliation on the growth of tropical pastures. IN: HUMPHREYS, L.R. (ed) **Tropical pasture utilization.** Cambridge:Cambridge University Press, cap. 4, p. 46-64, 1991.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant –grass short duration grazing system. **Plant and Soil** v. 219, p.161-168, 2000.

JUNIOR, F.B.R., SILVA, M.F.; TEIXEIRA, K.R.S; URGUAGA, S.; REIS, V.M. Identificação de isolados de *Azospirillum amazonense* associados a *Brachiaria* spp., em diferentes épocas e condições de cultivo e produção de fitormônio pela bactéria., Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.28 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2004

KANNO, T.; MACEDO, M. C.; EUCLIDES, V.P.B.; et al., Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian savannas, **Grassland Science**, 45(1): 9-14, 1999.

KLIFT, T. A. J. Van der; BERENDSE, F. Root life spans of four grass species from habitats differing in nutrient availability, **Functional Ecology**, 16(2): 198-203, 2002.

KIBBLER, H.; BAHNISCH, L. M. Physiological adaptations of *Hymenachne amplexicaulis* to flooding. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 39, p. 429-435, 1999.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. *PUBVET, Londrina*, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

KONZEN, E.A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida**.p.56, 1980. (dissertação de mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1980.

KONZEN, E.A. Manejo, estabilização e utilização de resíduos orgânicos na produção de grãos e pastagens, IN: II Viagem tecnológica e científica do CEFET de Uberaba, MG, **Anais....** II Viagem tecnológica e científica do CEFET de Uberaba, MG, 2003.

LEÃO, T.P. **Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem**, 2002. p.58 (dissertação de mestrado), Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hogdson, j. Illius, a.w. (ed.) **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford:CAB international, cap. 1, p.3-36, 1996.

LODGE,G; MURPHY,S, Root depths of sown and native pastures on the North-West Slopes of New South Wales. **Research in progress at the Tamworth Agricultural Institute** 2002. p. 108-109, 2003.

McCULLY, M. E. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. V.50:695-718, 1999.

MEIRELLES, N. M. F. **Degradação de pastagens – Critérios de avaliação. In: Recuperação de pastagens** 2. ed. Revisada PAULINO, V.T. E FERREIRA, L.G.(Ed.). Instituto de Zootecnia de Nova Odessa . p. 15-22, 1993.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.369-374, 1991.

MILNE, R.M., HAYNES, R.J. Comparative effects of annual and permanent diary pastures on soil physical properties in the tsitsikamma region of South Africa. **Soil Use and Management** 20(1): 81-88, 2004.

MITIDIERI, J. **Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicias**. São Paulo: Nobel, p.198, 1983.

MONTEIRO, F.A.; ONO, M.N. Níveis de enxofre em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivada em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25.,Viçosa, 1995. **Resumos**. Viçosa: SBCS/UFV, p.1021-1022., 1995.

MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D.D. DE et al. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. c.v. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba,v:52(1) p. 135-141, 1995.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICH, R.;TANAKA, R.T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 95-101, 2003.

MORRIS E.C.; MYERSCOUGH P.J. Self thinning and competition intensity over a

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

gradient of nutrient availability. **Journal of Ecology** v. 79, p. 903 a 923, 1991.

MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Pastagens, fundamentos da exploração racional**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, p. 25-47, 1994.

NICOULLAUD, B.; KING, D.; TARDIEU, F. Vertical distribution of maize roots in relation to permanent soil characteristics. **Plant and Soil**, 159: 245-254, 1994.

OLIVEIRA, J.C. de, OLIVEIRA, E.de, SÁ, J.P.G., ARAGÃO, A.A. Produção de matéria seca de parte aérea e raízes de aveia em Londrina-PR, 2000. In. **REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA**. 21, 2001, Lajes. *Resultados Experimentais...Lajes*: UDESC, 2001, p.92.

OLIVEIRA, O. C. Parâmetros químicos e biológicos relacionados com a degradação de pastagens de *Brachiaria* spp. no cerrado brasileiro. Tese de doutorado. UFRRJ, Seropédica, 2000. 243p.

PAGOTTO, D. S. **Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) sob irrigação submetido a diferentes intensidades de pastejo**. (dissertação de mestrado) Escola superior de agricultura "Luiz de Queiros" ESALQ – Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2001. p.51.

PELTZER, D. A.; WILSON, S. D. Competition and environmental stress in temperate grasslands. In: TOW, P.G.; LANZENBY, A. (ed.) **Competition and succession in pastures**. New York: CABI Publishing. p. 193-212, 2001.

PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M.R.; EASTHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pastures growth for a Red-Brown earth, **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.44 n.2, p.317-331, 1993.

PEREIRA, J.M. Produção e persistência de leguminos em pastagens tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE FORRAGICULTURA: TEMAS EM EVIDÊNCIA, 2., 2001. Lavras, Brasil. **Anais...** Lavras, 2001. p. 111-142.

QUADROS, D.G., RODRIGUES, L.R.A., RODRIGUES, T. J. D.; RAMOS, A . K. B.; PAROLIN, F.J.T.; Acúmulo de massa seca e dinâmica do sistema radicular do estilosante Mineirão submetido a duas intensidades de desfolhação. **Ciência Animal Brasileira** v. 5, n. 3, p. 113-122, 2004.

RAO, I.M.; Root distribution and production in native and introduced pastures in the south American savannas Root demographics and their efficiencies in sustainable agriculture, grasslands and forest ecosystems: **Proceedings of the 5th Symposium of the International Society of Root Research**, July,1996, Clemson-University, South Carolina, USA. P.19-41, 1998.

RAO, I. M.; AYARZA, M.A.; THOMAS, R.J.; FISHER, M.J.; SANZ, J.I.; SPAIN, J.M.; LASCANO, C.E. Soil plant factors and processes affecting productivity in ley farming. IN: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Pastures for the tropical lowlands**:CIAT's contribution. Cali, p. 145-175, 1992.

RICOURTE,J; QI-ZHIPING; FILIPE,D; RAO,I; AMEZQUITA,E; Root distribution, nutrient absorption and soils erosion in forage and crops systems in Cauca hillsides, Colombia. **Suelos Ecuatoriales**. 30(2): 157-162, 2000.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

ROBERTS, M.J., LONG, S.P., TIEZEN, LL., BEADLE, C.L. Measurement of plant biomass and net primary production of herbaceous vegetation. In: D.O. Hall, J.M. O.Surlock, H.R. Bolhàr-Nordenkamp, R.C. Leegood, S.P. Long. (Ed.) **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. Chapman &Hall, London. p. 1-21, 1993.

RODRIGUES, L. R. A .; RODRIGUES, T. J. D.; RAMOS, A . K. B.; QUADROS, D. G. Dry matter production of shoots and root density of two cultivars of *Lablab purpureus* (L.) Sweet. In: INTERNATIONAL GRASLAND CONGRESS, 19., 2001. São Pedro, Brasil. **Proceedings...** São Pedro, 2001. p. 573-574.

RODRIGUES, T.J.D. **Drought resistance mechanisms among peanut genotypes**, 1984. (thesis PhD. Crop Physiology) – University of Flórida, Gainesville, p.117, 1984.

ROSSI, C.; MONTEIRO, F.A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins brachiaria e colônia, **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.1101-1110, out./dez. 1999.

ROSSIELLO, R. O. P.; ARAÚJO, A. P.; MANZATTO, C. V.; FERNANDES, M. S. Comparação dos métodos fotoelétrico e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** , 30 (5): 633 - 638 , 1995.

SANFORD, P.; CULLEN, B.R.; DOWLING, P.M. et al –Effect of climate, soil factors and management on pasture production and stability across the high rainfall zone in south of Austrália. **Australian Journal of Experimental Agriculture**; 43(7/8): 907-926, 2003.

SANTOS, A. R.; MONTEIRO, F.A. Produção e perfilhamento de *Brachiaria decumbens* Stapf. em função de doses de enxofre. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56 n. 3, 1999.

SANTOS JUNIOR, J.D.G. **Dinâmica de crescimento e nutrição do capim Marandu submetido a doses de nitrogênio**. 2001. p.70. (Dissertação mestrado em Agronomia)- Escola superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SCHEFFER-BASSO, S.M.; JACQUES, A.V.A.; DALL' AGNOL, M Alocação da biomassa e correlações morfofisiológicas em leguminosas forrageiras com hábitos de crescimento contrastantes **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.629-634, out./dez. 2002.

SCHERER, E.E.; CASTILHOS, E.G., JUCKSCHI, I., NADAL, R., Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho. Florianópolis:EMPASC, p.26, 1984 (Boletim técnico nº24).

SARRUDE, J.R.; HAAG, H.P. – Análises químicas em plantas- Piracicaba:**ESALQ**,1974.

SCURLOCK, J.M.O.; HALL, D.O. The global carbon sink: a grassland perspective. **Global Change Biology**, 4: 229- 233, 1998.

SCHUURMAM, J.J.; GOEDEWAAGEN, M.A.J. **Methods for the examination of root systems and roots**, 2 ed. Ed.: Centre for Agricultural publishing and documentation, Wageningen, The Netherlands. 1991.

SILVA, A. P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.877-883, 1997.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. *PUBVET, Londrina*, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)** Viçosa:UFV, 165p., 1998.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados **Revista Brasileira de Ciências do solo**, 22:311-317, 1998.

SINGH, D.K.; SALE, P. W. G.; Subsoil phosphorus concentration and tolerance of heavily grazed legume-based pastures to dry soil conditions. **Wool Technology and Sheep Breedin**, 50(3): 499-502, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Microbial populations and activities in highlyweathered acidic soils: highlights of the Brazilian research. In: Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. (Eds) MONIZ, A. C.; FURLANI, A. M. C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N. K.; ROSOLEM, C. A.; CANTARELLA, H. **Brazilian Soil Science Society**. p. 55-58. 1997

SKINNER, R.H; HANSON,J. D; HUTCHINSON,G. L; SCHUMAN,G.E; Response of C3 and C4 grasses to supplemental summer precipitation. **Journal of Range Management**, 55(5): 517-522,2002.

SMITH, D. Carbohydrate reserves of grasses. In: YOUNGNER, V.B.; McKELL, C.M. (Ed.) **The biology and utilization of grasses**. New York: Academic Press, 1972. cap.23, p.318- 331.

SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) **Root methods: a handbook**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p.587, 2000.

STEPHENSON, G.R.; VEIGEL, A. Recovery of compacted soil on pastures used for winter cattle feeding. **Journal of Range Management**, v. 40, n.1, p. 46-48, 1987.

STEEN, E. Variation of root growth in a grass ley studied with a mesh bag technique. Swedish, **J. Agric. Res.** V.14, p.93-97, 1984.

TAIZ, LINCOLN; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre:Artmed, 2004. p.719.

TILMAN, D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. **Ecology**, v. 80, p.1455-1474, 1999.

TISDALL, J.M. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. *In*: CARTER, R.M.; STEWART, B.A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Lewis Publishers, Boca Raton, p.57-95, 1996.

VAN NOORDWIJK, M.; BROUWER, G.; MEIJBOOM, F.; OLIVEIRA, M.R.G; BENGOUGH, A.G. Trench profile techniques and core break methods. *In*: SMIT, A.L.; BENGOUGH, A.G.; ENGELS, C.; VAN NOORDWIJK, M.; PELLERIN, S.; VAN DE GEIJN, S.C. (Eds) **Root methods: a handbook**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 211-234, 2000.

VAN VEEN, J.A.; MERCKX, R. & VAN de GEIJN, S.C. Plant-and-soil-related controls of flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. **Plant and Soil**, 115:179- 188, 1989.

VANTINI, P. P. **Características morfofisiológicas do capim Tanzânia em função de doses de nitrogênio e idades da planta**, 2002.p. 144(Tese de doutorado em Zootecnia) Universidade estadual Paulista, faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, 2002.

Silva, A.A. e Jardim, C.A. Interações envolvendo sistemas radiculares de forrageiras. PUBVET, Londrina, V. 2, N. 41, Art#394, Out2, 2008.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J. and JANINE BLOOMFIELD. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at in ecosystem level. **Plant and Soil**. V: 200, p. 71-89, 1998.

WILLATT, S.T.; PULLAR, D.M.Changes in soil physical properties under grazed pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.22, n. 4, p.343 -348, 1983.

WHITE,R.E; CHRISTY, B.P; RIDLEY,A.M; ET AL., SGS Water Theme: influence of soil, pasture type and management on water use in grazing systems across the high rainfall zone of southern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 43(7/8): 907-926, 2003.