

## Biomassa e sazonalidade das raízes finas em savanas da Amazônia Oriental

Elayne Oliveira Braga<sup>1</sup>, Antônio Elielson Sousa Rocha<sup>2</sup>, Salustiano Vilar Costa Neto<sup>3</sup>, Tâmara Thaiz Santana Lima<sup>1</sup>, Luiz Gonzaga Silva Costa<sup>1</sup>, Izildinha Souza Miranda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Sócio Ambiental e de Recursos Hídricos, CP. 917, Montese, CEP 66077-530, Belém, PA, Brasil

<sup>2</sup>Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Botânica, CP. 399, CEP 66040-170, Belém, PA, Brasil

<sup>3</sup>Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Av. Feliciano Coelho 1509, Trem, CEP 68901-025, Macapá, AP, Brasil

**\*Autor correspondente:**

Izildinha.miranda@ufrpa.edu.br

**Termos para indexação:**

Estação seca  
Sistema radicular  
Rizosfera

**Index terms:**

Dry season  
Root systems  
Rhizosphere

**Histórico do artigo:**

Recebido em 11/11/2016  
Aprovado em 15/12/2017  
Publicado em 29/12/2017

doi: 10.4336/2017.pfb.37.92.1382

**Resumo** - Este trabalho objetivou comparar a biomassa de raízes finas em diferentes fisionomias e avaliar a influência da sazonalidade sobre a massa de raízes finas em savanas amazônicas localizadas no Amapá e Pará. Amostras de solos foram coletadas em cinco profundidades, de 10 em 10 cm, em três pontos no Cerrado sensu stricto, quatro no Campo Cerrado e dois no Campo Limpo, com 4 repetições em cada posição. A influência da sazonalidade foi verificada apenas no Campo Cerrado, em abril (pico das chuvas), julho (final das chuvas) e outubro (pico da seca) de 2010 e em janeiro de 2011 (início das chuvas). As fisionomias foram diferenciadas pela massa de raízes, quando analisadas nas diferentes classes diamétricas de raízes e nas diferentes profundidades. A maior massa de raízes finas ocorreu no pico da estação seca. Esses resultados sugerem estratégias diferentes das fisionomias na alocação das raízes mais finas em diferentes profundidades do solo e na dinâmica das raízes para aumentar o potencial de absorção durante a seca.

### Biomass and seasonality of fine roots of Eastern Amazon Savannas

**Abstract** - The objective of this work was to compare the biomass of fine roots in different physiognomies evaluating the influence of seasonality at the Amazon savannas located in Amapá and Pará States. Soil samples were collected in five positions, from 10 to 50 cm deep. Three points were allocated at typical savanna (Cerrado sensu stricto), 4 at open savanna (Campo Cerrado) and 2 at natural grassland (Campo Limpo). At each point 4 replications were performed. The influence of seasonality was verified only in Campo Cerrado in April (rainfall peak), July (end of rainy season) and October (peak of drought) of 2010 and in January of 2011 (beginning of rainy season). The physiognomies were differentiated by root mass when analyzed under different diametric classes of roots and different depths. The largest mass of fine roots occurred at the peak of the dry season. These results suggest different strategies in finest roots allocation in different physiognomies and soil depths and differences of roots dynamics to increase absorption potential during dry season.

## Introdução

A vegetação das savanas amazônicas, assim como na área core dos cerrados brasileiros, apresenta uma grande variedade de tipos fisionômicos, que diferem quanto

à predominância dos elementos lenhosos (Barbosa & Miranda, 2005). O estrato arbustivo-herbáceo dominado por gramíneas possuem raízes relativamente superficiais, enquanto que as plantas lenhosas possuem seu sistema

radicular mais profundo (Bucci et al., 2004). Durante a estação seca, as raízes profundas permitem o acesso à água armazenada nas camadas mais profundas, de forma a manter a transpiração e a fixação de carbono (Oliveira et al., 2005).

A compreensão do funcionamento, distribuição e quantidade de raízes finas é fundamental, uma vez que as raízes são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes, tendo um papel central no ciclo de carbono, desde o nível da planta até o ecossistêmico, além de apresentar mecanismos para proteção das plantas em condições adversas (Navroski et al., 2010; Rosado et al., 2011), como longos períodos de seca (Metcalf et al., 2008).

A quantidade de raízes finas pode ser afetada por diversos fatores, como o tipo de vegetação e a composição de espécies (Finér et al., 2011; Brassard et al., 2013), comprimento, decomposição e longevidade (Eissenstat et al., 2000), sazonalidade pluviométrica (Lima et al., 2010, 2012) e características do solo (Blair & Perfecto, 2001; Wright et al., 2011). Nos cerrados brasileiros é possível observar que a precipitação é um dos principais fatores que determina a dinâmica sazonal da vegetação (Bacerra et al., 2009) e esta influência também pode ser observada nas savanas amazônicas (Miranda, 1995; Barbosa et al., 2012a).

O estudo do comportamento das raízes finas com relação à temperatura e precipitação regional pode ajudar na identificação dos grupos de plantas que são mais sensíveis às mudanças climáticas (Gill & Jackson, 2000). Nas florestas tropicais, por exemplo, a disponibilidade de água no solo é um fator importante para o controle da produção de raízes finas (Lima et al., 2010). Longos períodos de seca podem favorecer a produção dessas raízes, devido ao aumento na alocação de carbono para o sistema radicular (Metcalf et al., 2008).

Os objetivos deste estudo foram comparar a biomassa de raízes finas em áreas com diferentes fisionomias (Cerrado *sensu stricto*, Campo Limpo e Campo Cerrado) e avaliar a influência da sazonalidade sobre a massa de raízes finas das savanas amazônicas do Pará e Amapá.

## Material e métodos

O trabalho foi realizado nas fisionomias Cerrado *sensu stricto*, Campo Limpo e Campo Cerrado, localizadas nos Estados do Amapá e Pará, nas savanas próximas

ao litoral, ao longo do estuário do rio Amazonas. Essas savanas possuem fisionomia similar aos cerrados do planalto central brasileiro e mostram um mosaico de diferentes tipos fisionômicos, desde áreas gramíneas até áreas florestadas, mas com baixa similaridade florística entre eles, o que revela uma alta heterogeneidade florística no mosaico (Costa Neto et al., 2017).

No Amapá, os pontos de coleta foram nos municípios de Macapá (0°02'N 51°04'W), Amapá (1°58'S 50°50'W) e Calçoene (2°30'N 51°00'W). O clima desta região é do tipo tropical quente, com um período chuvoso prolongado (entre janeiro e julho), e uma estação seca de pequena duração (setembro e outubro). A umidade relativa média é de 85%, a temperatura média anual entre 26 °C e 28 °C, e a precipitação total anual entre 2.500 mm a 3.250 mm (Rabelo, 2008). Essas áreas estão sobre Latossolo Amarelo, aluminizados, constituídos por sedimentos areno-argilosos, arenosos, argilo-siltosos e conglomerados. O relevo na região é caracterizado como plano e suave ondulado (Rodrigues et al., 2000).

No Pará, os pontos localizavam-se no município de Maracanã, em uma área conhecida como Campo da Mangaba (00°45'S 47°32'W), que é um enclave de Campo Cerrado com uma área aproximada de 2.500 ha, rodeado por áreas de floresta secundária em vários estágios sucessionais. O relevo da área é predominantemente plano, apresentando altitude entre 14 m e 20 m. Os solos são arenosos, com baixos teores de matéria orgânica e argila (Rocha & Miranda, 2012). O clima da região é tropical quente, com temperatura média anual de 26 °C, precipitação anual variando de 1.854 mm a 1.923 mm e média anual da umidade relativa de 80% (Moraes et al., 2005).

Para comparar a biomassa de raízes finas entre diferentes fisionomias foram estabelecidos nove pontos de coleta, sendo três no Cerrado *sensu stricto*, quatro no Campo Cerrado e dois no Campo Limpo. Em cada ponto foram coletadas quatro amostras de solo em cinco profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm e 40-50 cm, totalizando 180 amostras nas três fisionomias.

A influência da sazonalidade sobre a biomassa de raízes finas foi verificada apenas no Campo Cerrado do Município de Maracanã. As coletas foram realizadas em 4 períodos diferentes: nos meses de abril, julho, outubro de 2010 e janeiro de 2011. Em cada período foram distribuídos aleatoriamente 40 pontos para coleta

de amostras de solos, que também foram realizadas em cinco profundidades (a cada 10 cm). No total, foram analisadas 800 amostras de solos (40 pontos x cinco profundidades x quatro períodos).

Em todas os pontos de amostragens o solo foi coletado com auxílio de um cilindro de aço inoxidável de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro (0,001964 m<sup>3</sup>). As amostras foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e congeladas a -2 °C, até serem triadas no laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém, PA.

Para a separação das raízes finas do solo, as amostras foram degeladas, colocadas em sacos de tecido com malha de 0,05 mm de abertura e lavadas em água corrente. Em seguida, o material foi colocado em uma bandeja para a triagem manual das raízes finas com o auxílio de uma pinça. As raízes finas foram classificadas em vivas (<1 mm diâmetro; entre 1 mm e 2 mm e entre 2 mm a 5 mm) e mortas ( $\leq$  5 mm de diâmetro). Para a obtenção da massa seca (g m<sup>-2</sup>), as amostras foram secas em estufa a 75 °C e em seguida pesadas em balança analítica (0,0001 g).

Para comparar a biomassa de raízes finas entre as fisionomias do Cerrado, inicialmente foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (K-W) e posteriormente foi utilizado o Teste de Dunn, para mostrar as diferenças entre os pares fisionômicos. A distribuição da massa de raízes ao longo do perfil do solo foi comparada utilizando-se o teste de qui-quadrado. Para verificar a influência da sazonalidade sobre a biomassa de raízes finas foi utilizada análise de variância de medidas repetidas, considerando-se dois fatores, o período (n = 4) e a profundidade (n = 5). Médias  $\pm$  erro padrão foram utilizadas para apresentação dos resultados e para comparação com dados da literatura. As análises foram realizadas no programa Systat 12.

## Resultados

Embora a média da massa total de raízes finas (vivas  $\leq$  5 mm + mortas) tenha sido superior (K-W = 6,56; p = 0,037) no Campo Cerrado (772,93 g m<sup>-2</sup>), quando comparado ao Cerrado sensu stricto (560,48 g m<sup>-2</sup>) e

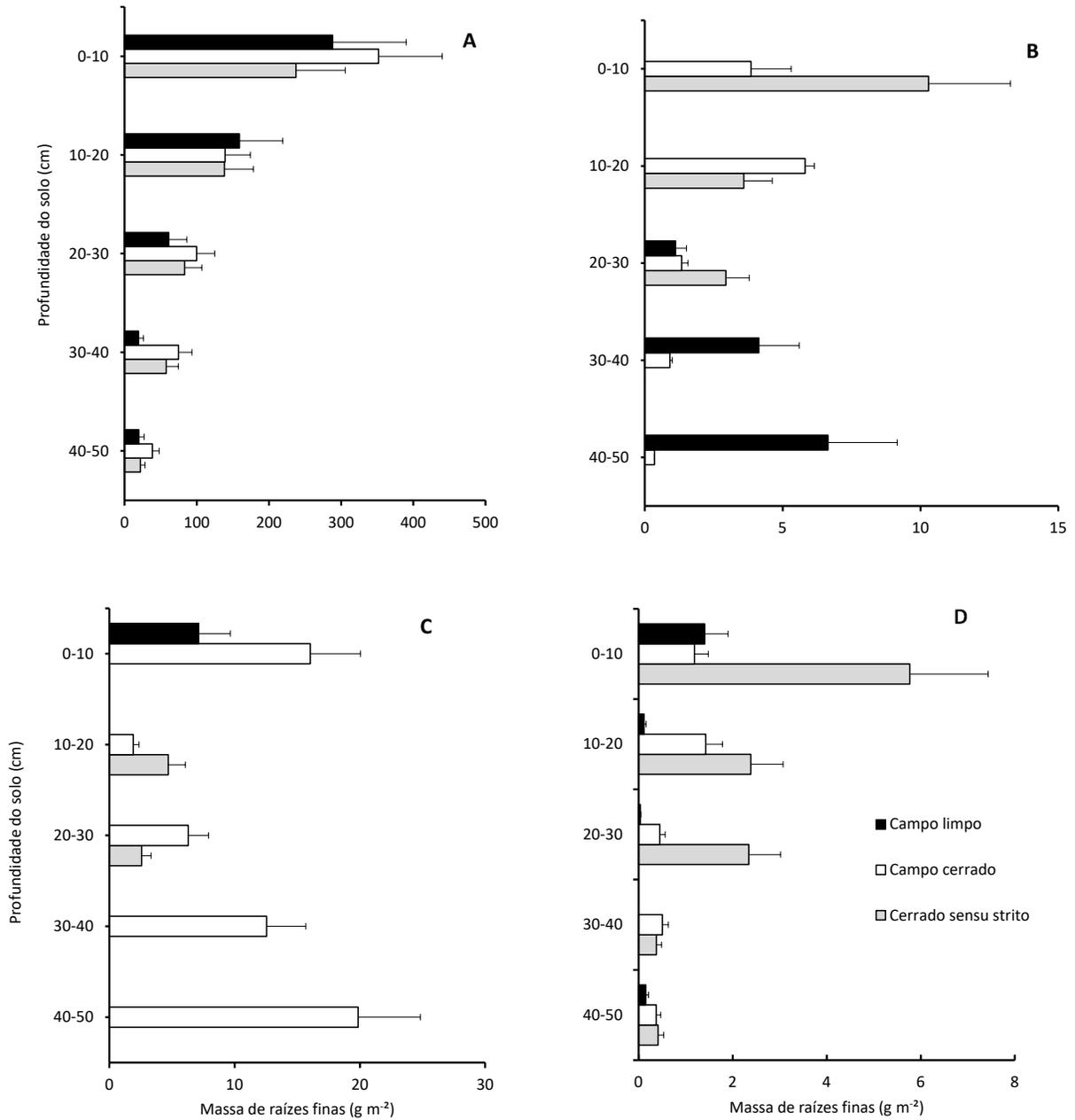
ao Campo Limpo (565,30 g m<sup>-2</sup>) o teste de Dunn para os pares fisionômicos não mostrou diferenças entre as fisionomias. Foi verificado coeficiente de variação de cerca de 50 e 40% no Campo Cerrado e no Campo limpo, respectivamente.

Contudo, quando comparadas as diferentes classes de diâmetros das raízes, as fisionomias puderam ser diferenciadas. A massa de raízes  $\leq$  1 mm foi maior no Campo Cerrado nas profundidades de 30-40 cm (K-W= 15,424; p= 0,0001) e 40-50 cm (K-W= 12,129; p= 0,002); a massa de raízes de 2-5 mm também foi maior no Campo Cerrado na profundidade de 0-10 cm (K-W= 7,673; p= 0,022); e, a massa de raízes mortas foi maior no Cerrado sensu stricto na profundidade de 0-10 cm (K-W= 6,248; p= 0,044) e 10-20 cm (K-W= 10,185; p= 0,006) (Figura 1).

A distribuição vertical da massa de raízes finas vivas foi similar entre as fisionomias (Qui-quadrado = 8,8287, p-valor = 0,3569) e apresentou maior concentração nas duas primeiras profundidades do solo (0-10 cm e 10-20 cm), onde contém entre 70% e 81% do total das raízes finas (Figura 2).

No Campo Cerrado do município de Maracanã, PA, no período estudado, houve uma estação seca entre julho e novembro de 2010, com precipitação média mensal de 37 mm. As coletas ocorreram no pico da estação chuvosa (abril), no final das chuvas (julho), no pico da seca (outubro) e começo das chuvas (janeiro de 2011) (Figura 3). Essa sazonalidade da precipitação influenciou a biomassa de raízes finas vivas  $\leq$  1 mm em todas as profundidades (Anova,  $F_{4,3} = 12,963$ ; p < 0,0001), mas não houve interação entre o período de coleta e a profundidade.

A maior massa foi observada em outubro, no pico da seca (abril = 81,603 g m<sup>-2</sup>  $\pm$  52,518 g m<sup>-2</sup>; julho = 92,853 g m<sup>-2</sup>  $\pm$  60,311 g m<sup>-2</sup>; outubro = 102,374 g m<sup>-2</sup>  $\pm$  51,435 g m<sup>-2</sup>; janeiro = 97,406  $\pm$  57,932) (Figura 4a). A massa de raízes mortas também foi influenciada pela sazonalidade (Anova,  $F_{4,3} = 4,531$ ; p < 0,004), com maior valor em julho, no final do período chuvoso (abril = 2,279 g m<sup>-2</sup>  $\pm$  4,537 g m<sup>-2</sup>; julho = 2,189 g m<sup>-2</sup>  $\pm$  9,252 g m<sup>-2</sup>; outubro = 1,581 g m<sup>-2</sup>  $\pm$  3,297 g m<sup>-2</sup>; janeiro = 4,553  $\pm$  13,468) (Figura 4b).



**Figura 1.** Média  $\pm$  erro padrão da massa de raízes finas nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm e 40-50 cm do solo no Campo Limpo, Campo Cerrado e Cerrado sensu stricto. Raízes finas vivas nas classes  $\leq 1$  mm (A), entre 1 e 2 mm (B) e entre 2 e 5 mm (C) e raízes finas mortas (D).

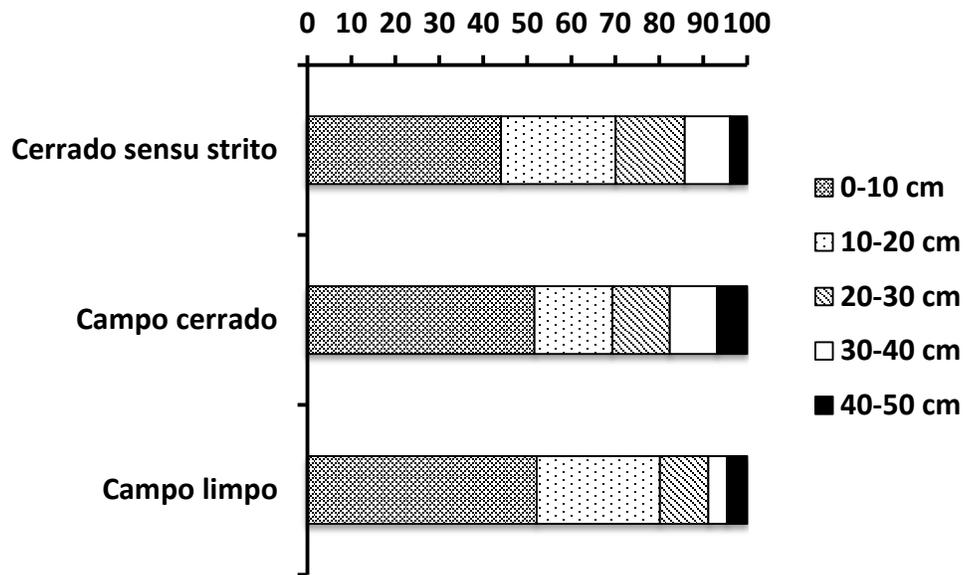


Figura 2. Porcentagem média de raízes finas (vivas  $\leq 5\text{ mm}$  + mortas) por fisionomia, nas diferentes profundidades do solo no Campo Limpo, Campo Cerrado e Cerrado sensu stricto.

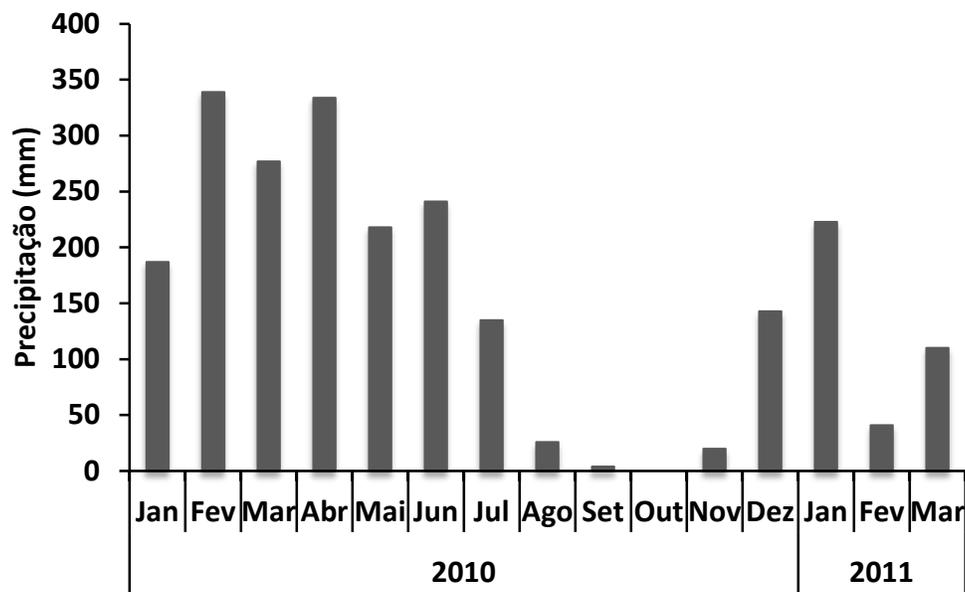
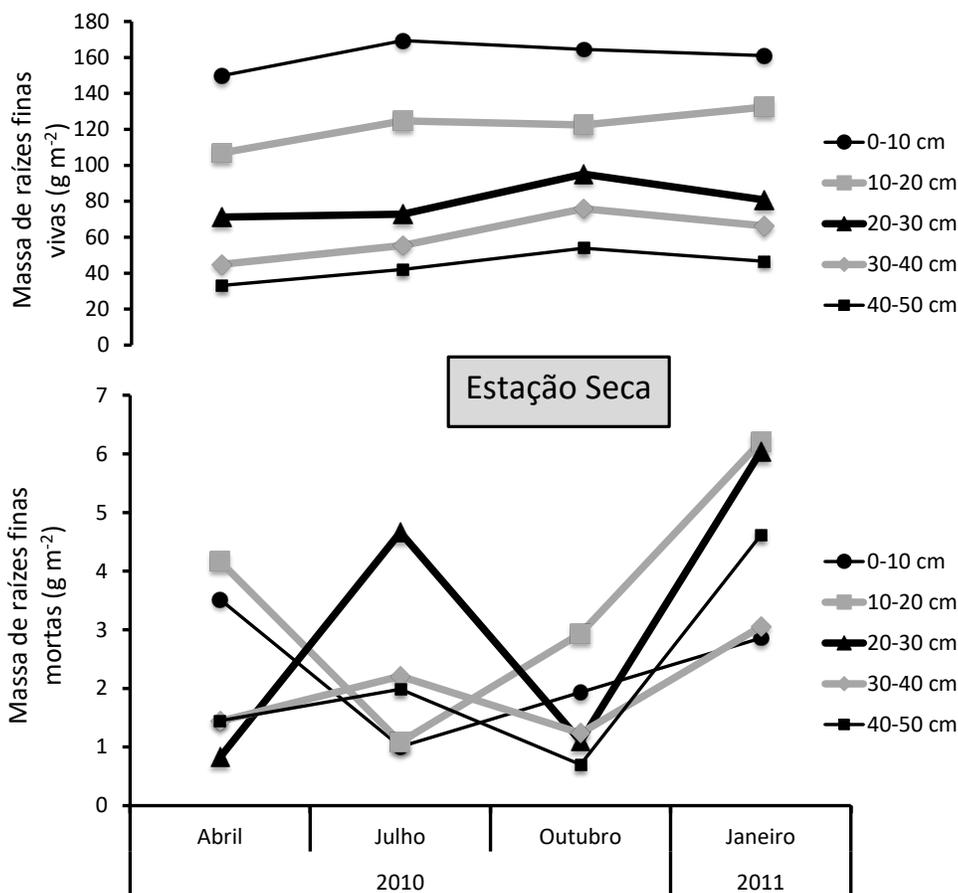


Figura 3. Precipitação mensal no Campo Cerrado localizado no município de Maracanã, PA. Fonte: Estação Agrometeorológica de Salinópolis (INMET).



**Figura 4.** Média da massa de raízes finas vivas (g m<sup>-2</sup>), por mês de coleta, realizadas em cinco profundidades (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 cm) no Campo Cerrado do município de Maracanã, PA. Raízes  $\geq 1$ mm (A) e raízes mortas (B).

## Discussão

O padrão de distribuição da biomassa das raízes finas vivas no perfil do solo, com a maior concentração de raízes finas nas camadas mais superficiais do solo, é o mesmo encontrado em outros cerrados da Amazônia (Barbosa et al., 2012b), e nos cerrados do Brasil Central (Miranda et al., 2014). Este também é um padrão global observado em outros ecossistemas (Freitas et al., 2008; Leão et al., 2014).

O alto coeficiente de variação na quantidade de raízes finas pode ter ocorrido devido ao baixo número de amostras, como sugerido por Oliveira et al. (2005) ou em razão da variabilidade das amostras, como constatado por Morais et al. (2012) e Miranda et al. (2014), que

verificaram um coeficiente de variação entre 30% e 58%, respectivamente.

Os valores médios de biomassa total de raízes finas (vivas + mortas) para as três fisionomias estiveram próximos de 600 g m<sup>-2</sup> encontradas em uma área de Campo Cerrado de São Paulo (Delitti et al., 2001) e de 582 g m<sup>-2</sup> encontradas em um Campo Sujo também em São Paulo (Fidelis et al., 2012). Em contraste, a biomassa de raízes finas provenientes de outra área de savana amazônica foi maior. Barbosa et al. (2012b) encontraram 2.952 g m<sup>-2</sup> de raízes finas em 50 cm de profundidade, nas savanas amazônicas de Roraima. Embora os métodos de amostragens possam influenciar na comparação desses resultados, os fatores abióticos locais devem influenciar as massas de raízes finas encontradas em todos esses

locais; e, como existe uma heterogeneidade espacial muito grande nesses ambientes (Miranda et al., 2014), esses fatores devem ser melhor estudados.

A biomassa total de raízes finas na profundidade de 0-50 cm do solo não foi boa para mostrar diferença entre as fisionomias; assim como nos estudos de Oliveira et al. (2005) e Paiva et al. (2011) que também não conseguiram distinguir diferenças de biomassa de raízes finas entre os tipos fisionômicos. A arquitetura radicular do estrato inferior dos cerrados, especialmente das gramíneas que são dominantes nesses ambientes, pode estar determinando esses resultados na profundidade analisada. Da mesma forma, as diferenças florísticas existentes entre os tipos fisionômicos das savanas do Amapá (Costa Neto et al., 2017) podem levar às diferenças entre as massas de raízes finas, uma vez que as características morfológicas e as estratégias de absorção são intimamente ligadas às espécies (Finér et al., 2011; Brassard et al., 2013).

Todavia, a diferenciação fisionômica foi percebida nas camadas mais superficiais, quando separamos as classes diamétricas das raízes finas. A massa de raízes  $\leq 1$  mm foi maior no Campo Cerrado nas profundidades de 30-40 cm e 40-50 cm. Nos cerrados as raízes finas de árvores e arbustos exploram camadas mais profundas do solo e em períodos de seca chegam a utilizar mais que 75% da água armazenada nessas camadas profundas (Bucci et al., 2004; Oliveira et al., 2005). Assim, é recomendado que a análise seja feita em profundidades maiores do que os 50 cm aqui estudados.

A massa de raízes mortas também diferenciou as fisionomias, mas ao contrário das raízes  $\leq 1$  mm, a diferença foi encontrada nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, sendo maior no Cerrado sensu stricto. Esse resultado indica uma maior dinâmica das raízes nessa fisionomia. Em geral, a maior concentração de nutrientes disponíveis no solo pode aumentar a longevidade das raízes finas vivas e consequentemente diminuir a massa de raízes finas mortas (Eissenstat et al., 2000). No entanto, como os recursos são limitados no cerrado, há uma aceleração na dinâmica das raízes finas para aumentar o potencial de absorção, resultando em maior mortalidade das raízes finas (Blair & Perfecto, 2001).

Padrões sazonais das raízes finas também foram observados por outros autores. Em uma Floresta Secundária na Amazônia Oriental, a máxima produção de raízes finas vivas ( $17,92 \pm 2,93$  g m<sup>-2</sup>) e mortas (0,30

$\pm 0,09$  g m<sup>-2</sup>) ocorreu no período seco (Lima et al., 2012), similar aos resultados aqui apresentados. A maior massa de raízes finas mortas no período seco pode ser uma estratégia de adaptação da vegetação à sazonalidade local. As raízes finas mais jovens captam melhor os nutrientes. Assim, há um aumento na mortalidade de tecidos mais velhos, (Blair & Perfecto, 2001) e aumento da produção de raízes finas vivas para maximizar a captação dos recursos, que estão menos disponíveis no período da seca (Pivello et al., 2005).

Contudo, resultados diferentes foram encontrados no Cerrado das Emas, SP, onde a maior produção de raízes finas, ocorreu no período chuvoso (Delitti et al., 2001). Em uma savana no norte da Austrália também foi observada maior massa de raízes finas no período chuvoso (Chen et al., 2004), assim como em uma floresta tropical amazônica (Metcalfe et al., 2008).

A influência da sazonalidade sobre a produção e estoque de raízes finas ainda é muito contrastante na literatura. Por isso, mais estudos são necessários para que seja possível entender os fatores que levam aos diferentes comportamentos, especialmente diante da ameaça de mudanças climáticas globais pela qual passamos no presente momento.

## Conclusões

As diferenças de massas de raízes vivas  $\leq 1$  mm no Campo Cerrado, e de raízes mortas no Cerrado sensu stricto sugerem estratégias diferentes das fisionomias na alocação das raízes mais finas em diferentes profundidades do solo, onde podem captar mais nutrientes. Sugerem também diferenças na dinâmica das raízes, com maior mortalidade das raízes mais velhas, pouco hábeis para captação de recursos, e um aumento da produção de raízes finas vivas que são mais hábeis nessa função.

A massa de raízes finas vivas e mortas das savanas aumenta no período seco, contudo esse comportamento foi diferente do encontrado em outras áreas de cerrados do Brasil, havendo necessidade de mais estudos para que o padrão da dinâmica das raízes finas nessas áreas seja estabelecido, tanto no que diz respeito a repetições espaciais, abrangendo várias áreas de savanas amazônicas, quanto em maiores profundidades, para alcançar camadas onde as diferenças sejam mais perceptíveis.

## Referências

- Bacerra, J. A. B. et al. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 125-134, 2009. DOI: 10.1590/S0102-77862009000200002.
- Barbosa, R. I. & Miranda, I. S. Biodiversidade das Savanas de Roraima. **Ação Ambiental**, v. 32, p. 19-23, 2005.
- Barbosa, R. I. et al. Reproductive phenology of the main tree species in the Roraima savanna, Brazilian Amazon. **Ecotropica**, v. 18, p. 81-92, 2012a.
- Barbosa, I. R. et al. Root biomass, root: shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Australian Journal of Botany**, v. 60, p. 405-416, 2012b. DOI: 10.1071/BT11312.
- Blair, B. C. & Perfecto, I. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. **Biotropica**, v. 33, p. 697-701, 2001. DOI: 10.1646/0006-3606(2001)033[0697:NCASEO]2.0.CO;2.
- Brassard, B. W. et al. Tree species diversity increases fine root productivity through increased soil volume filling. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 1, p. 210-219, 2013. DOI: 10.1111/1365-2745.12023.
- Bucci, S. J. et al. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in Neotropical savanna. **Trees**, v. 19, p. 296-304, 2004. DOI: 10.1007/s00468-004-0391-2.
- Chen, X. et al. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 20, p. 221-224, 2004. DOI: 10.1017/S0266467403001135.
- Costa Neto, S. V. et al. Flora das savanas do estado do Amapá. In: Bastos, A. M. et al. (Org.). **Conhecimento e manejo sustentável da biodiversidade amapaense**. São Paulo: Edgard Blücher, 2017. p. 61-90.
- Delitti, W. B. C. et al. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannas (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Annual Forest Science**, v. 58, p. 713-721, 2001. DOI: 10.1051/forest:2001158.
- Eissenstat, D. M. et al. Building roots in a changing environment: implications for root longevity. **New Phytologist**, v. 147, p. 33-42, 2000.
- Fidelis, A. et al. Above-and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, p. 356-364, 2012. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2012.01465.x.
- Finér, L. et al. Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 11, p. 2008-2023, 2011. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.08.042.
- Freitas, T. A. S. et al. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, v. 18, p. 133-142, 2008.
- Gill, R. & Jackson, R. B. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. **New Phytologist**, v. 147, p. 13-31, 2000.
- Leão, F. M. et al. Fine root biomass in gaps of 'Terra Firme' forest in eastern Amazonia. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, p. 130-137, 2014.
- Lima, T. T. S. et al. Effects of water and nutrient availability on fine root growth in eastern Amazonian forest regrowth, Brazil. **New Phytologist**, v. 187, p. 622-630, 2010. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03299.x.
- Lima, T. T. S. et al. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 95-104, 2012.
- Metcalf, D. B. et al. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, p. 189-199, 2008. DOI: 10.1007/s11104-008-9670-9.
- Miranda, I. S. Phenology of the arboreal stratum of a savanna community at Alter do Chão, PA. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 18, n. 2, p. 235-240, 1995.
- Miranda, S. C. et al. Regional variations in biomass distribution in Brazilian savanna woodland. **Biotropica**, v. 46, p. 125-138, 2014. DOI: 10.1111/btp.12095.
- Moraes, B. C. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 207-214, 2005.
- Morais, V. A. et al. Carbon and biomass stock in a fragment of cerrado in Minas Gerais State, Brazil. **Cerne**, v. 19, p. 237-245, 2012. DOI: 10.1590/S0104-77602013000200007.
- Navroski, M. C. et al. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 535-540, 2010.
- Oliveira, R. S. et al. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574-581, 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2005.01003.x.
- Paiva, A. O. et al. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, p. 527-538, 2011.
- Pivello, V. R. Manejo de fragmentos de cerrado: princípios para a conservação da biodiversidade. In: Scariot, A. et al. (Ed.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 403-413.
- Rabelo, B. V. (Coord.). **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá: primeira aproximação do ZEE**. Macapá: IEPA, 2008. 140 p.
- Rodrigues, T. E. et al. **Caracterização e classificação dos solos do Campo Experimental do cerrado da Embrapa do Amapá, Estado do Amapá**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 43).
- Rocha, A. E. S. & Miranda, I. S. Cobertura vegetal, biomassa aérea e teor de proteína do estrato herbáceo de ambiente savânico no município de Maracanã, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 4, p. 513-520, 2012.
- Rosado, B. H. P. et al. Fine root biomass and root length density in a lowland and a montane tropical rain forest, SP, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 203-209, 2011. DOI: 10.1590/S1676-06032011000300018.

Wright, S. J. et al. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest. **Ecology**, v. 92, n. 8, 1616-1625, 2011. DOI: 10.1890/10-1558.1.

