



NÚCLEO DE
APOIO À
PESQUISA
EM RORAIMA

Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**

RELATÓRIO FINAL
(Bolsa PCI-D / INPA)

ESTOQUE DE RAÍZES E CARVÃO DO SOLO EM FLORESTA MONODOMINANTE
DE *Peltogyne gracilipes* NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE MARACÁ, RORAIMA

Bolsista: Dr. Lidianny Camila da Silva– PCI/INPA
Coordenador: Dr. Reinaldo Imbrozio Barbosa - INPA
Vigência: Setembro de 2014 a Novembro de 2014
Processo: 313719/2014-4

Boa Vista, Roraima
Novembro de 2014

Resumo do projeto

A floresta Amazônica, conhecida por sua elevada diversidade de espécies arbóreas, é também bastante diversa do ponto de vista fitofisionômico, abrindo formações florestais diferenciadas como as florestas monodominantes. Essas florestas são caracterizadas pela composição de 50% ou mais da área basal ou do número de indivíduos por uma única espécie. As florestas monodominantes já descritas dentro do bioma Amazônia ocorrem em áreas ecotonais, na transição entre a floresta ombrófila e o cerrado, como por exemplo, a floresta monodominante de *Peltogyne gracilipes* (Fabaceae) na Ilha de Maracá, Roraima. Estudos já indicaram que a floresta de *P. gracilipes* é semidecidual e normalmente ocorre em solos mal drenados e com alto teor de magnésio. É provável que a variação na condição edáfica entre as florestas na Ilha de Maracá não seja refletida somente na estrutura aérea, mas também no estoque de biomassa de raízes dessas florestas. Sabe-se que além da condição edáfica existe um conjunto de fatores bióticos e abióticos associados à manutenção da monodominância de *P. gracilipes* nas florestas semidecíduas em Maracá. No entanto, é pouco provável que a monodominância de *P. gracilipes* tenha acontecido de maneira gradual. A hipótese mais aceita é que a maioria das florestas monodominantes tenham tido sua origem a partir de um distúrbio. Existem algumas evidências da ocorrência de incêndios no interior da Ilha de Maracá como cicatrizes de fogo em árvores e a presença de carvão no solo. *P. gracilipes* é dotada de algumas características que fazem dela uma espécie com bom potencial colonizador. Desse modo, é possível que em algum momento, após a ocorrência de incêndios Holocênicos em Maracá, *P. gracilipes* tenha recrutado um grande efetivo de plântulas, que garantiu a dominância dessa espécie nos demais estádios ontogenéticos.

Introdução

A Ilha de Maracá, localizada no ecótono entre o complexo de Savanas do Rio Branco – Rupupuni e a Floresta Ombrófila Densa no norte do estado de Roraima, possui grande heterogeneidade ambiental, resultando na ocorrência de diferentes fitofisionomias. No entanto, a floresta estacional semidecidual, com monodominância de *Peltogyne gracilipes* (Fabaceae), e a floresta ombrófila densa, dominam a paisagem no interior da Ilha (Furley e Ratter, 1994). As florestas monodominantes são caracterizadas pela ocorrência de pelo menos 50% da área basal total ou do número de indivíduos exclusiva de uma única espécie (Hart, 1990). A floresta de *P. gracilipes* ocorre principalmente em solos com alta concentração de Magnésio e mal drenados (Nascimento et al., 1997; Norttclif e Robson; 1998). Essas características edáficas parecem agir como um filtro ambiental, selecionando espécies tolerantes a tal condição. A maioria dessas espécies é caracterizada por menor altura potencial quando comparada às espécies dominantes na floresta ombrófila (Carvalho, 2014). É possível que esses filtros ambientais também limitem o desenvolvimento das raízes das árvores. No entanto, o estoque de biomassa de raiz e sua variação ao longo do perfil do solo e entre as florestas na Ilha Maracá ainda são desconhecidos.

A transição floresta-savana em áreas de ecótonos tem uma grande implicação no estoque de carbono da biomassa aérea, o qual diminui rapidamente à medida que o dossel se abre no sentido floresta-savana (Veenendal et al., 2014). No entanto, não se sabe se o carbono estocado nas raízes segue este mesmo padrão. Alguns trabalhos apontam uma relação inversa, mostrando que quanto mais aberta a vegetação, maior é a razão (root : shoot) entre o carbono estocado nas raízes e na biomassa aérea (Sanford et al., 1996; Durigan et al., 2012).

Ainda não foi comprovado quais fatores podem ter desencadeado a monodominância por *P. gracilipes* na Ilha de Maracá. A hipótese mais provável é que a monodominância de uma espécie arbórea se inicie após um distúrbio qualquer, que não seja frequente (Hart, 1990). A localização da Ilha de Maracá coincide com o arco de ocorrência dos grandes incêndios em Roraima, sendo historicamente uma das mais

afetadas em todo o estado (Barbosa e Fearnside, 1999). Assim, é possível que em algum momento, fogos Holocênicos tenham favorecido a colonização de *P. gracilipes* nas florestas semidecíduas de Maracá que, gradualmente, atingiu o *status* de monodominante tanto no dossel quanto no banco de plântulas dessa floresta. Sabe-se que essa espécie possui características fenológicas e reprodutivas que podem garantir uma boa colonização após a ocorrência de um incêndio (Carvalho, 2014). Embora informações sobre a ocorrência de fogos Holocênicos na região de Maracá sejam escassas, é possível acessar o histórico destes eventos pretéritos de forma indireta, por meio da observação e quantificação do estoque de carvão no solo destas florestas. Além de contribuir para o melhor entendimento da monodominância de *P. gracilipes* em Maracá, o estudo da biomassa de raízes e do estoque de carvão nas florestas em Maracá é importante para fornecer estimativas do estoque de carbono subterrâneo presente em florestas ecotonais da Amazônia.

Os carvões residuais de incêndios armazenados no solo são desconsiderados nos cálculos das fontes e reservatórios de carbono por uso e troca do uso da terra na Amazônia (Brasil, 2010). A razão pela opção de não se utilizar o carbono derivado do carvão formado pelos fogos e incêndios florestais nos cálculos dos inventários nacionais é o alto grau de incertezas contido nos métodos de quantificação. Contudo, este reservatório de longo prazo é reconhecido como um dos “reservatórios perdidos de carbono” que não são contabilizados no balanço das emissões globais de CO₂ atmosférico nos Guidelines do IPCC (Forbes *et al.* 2006; IPCC 2006; Lehmann *et al.* 2006). Além de contribuir para as estimativas de estoques de carbono em florestas, a quantificação do carvão estocado ao longo do perfil do solo, permite acessar indiretamente o histórico de incêndios, fornecendo informações mais precisas sobre a frequência e a intensidade dos grandes incêndios ocorridos em Roraima, os quais são relevantes para o entendimento da dinâmica espaço-temporal dos ecótonos.

Objetivo

Estimar a biomassa de raízes e carvão ao longo do perfil do solo em florestas semidecíduas com monodominância de *Peltogyne gracilipes* e na floresta ombrófila da Ilha de Maracá, Roraima.

Área de estudo

O estudo foi realizado na Ilha de Maracá, uma unidade de proteção integral federal na categoria de Estação Ecológica (ESEC Maracá) (Figura 1). A Ilha de Maracá possui área total de aproximadamente 110.000 ha, sendo a terceira maior ilha fluvial do mundo, com 65 km de extensão, largura variando entre 15 e 25 km, localizada na porção centro-norte do estado de Roraima ($3^{\circ}15' - 3^{\circ}35' \text{ N}$ e $61^{\circ}22' - 61^{\circ}58' \text{ W}$) entre os municípios de Alto Alegre e Amajari. Segundo a classificação de Köppen, revisada por Peel et al. (2007), Maracá está situado na transição dos climas subtipo savana (Aw) para o subtipo de monções (Am) do clima tropical úmido (A). O clima Aw, predominante no nordeste de Roraima, é marcado por uma distribuição desigual das chuvas com um período seco bem definido entre outubro e março.

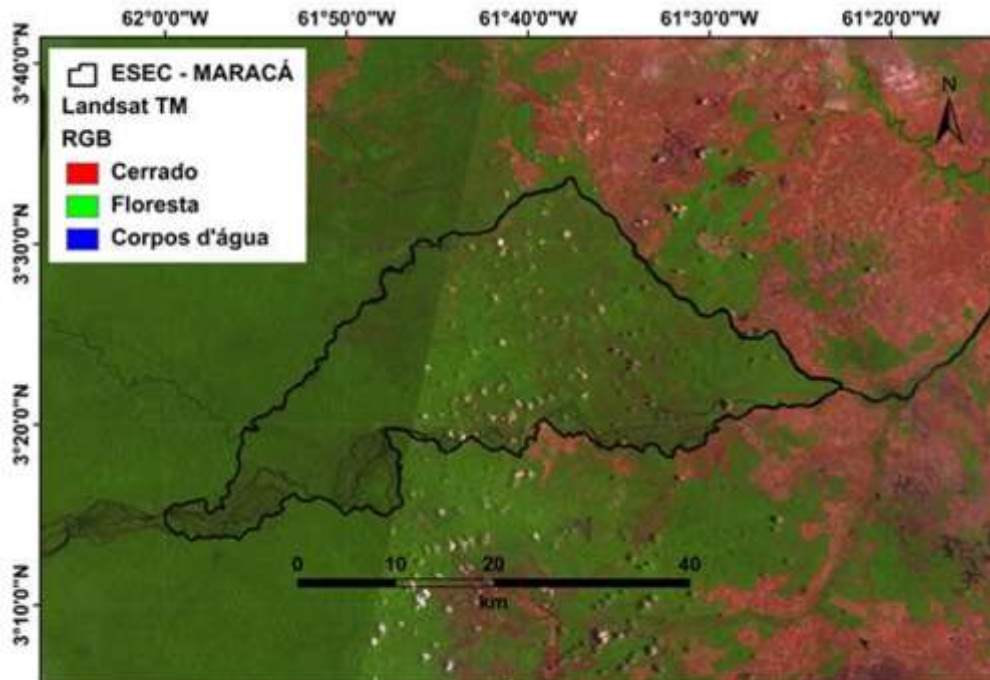


Figura 1. Localização da Estação Ecológica (ESEC) Maracá, no rio Uraricoera, estado de Roraima. A vegetação de coloração verde corresponde às florestas e a de coloração vermelha as vegetações abertas de cerrado, localmente conhecida como lavrado.

Maracá é parte do complexo geológico conhecido como Escudo das Guianas, formado no período Pré-cambriano (aproximadamente 1,7 bilhões de anos atrás). As paisagens do Escudo da Guiana são marcadas por superfícies aplainadas com leve ondulação e por planícies dissecadas, localizadas entre relevos escarpados. Maracá está situada em uma dessas planícies de origem mais recente datadas do período Terciário Superior, na parte oeste da ilha, e do Pleistoceno na ponta leste (Bigarella e Ferreira, 1985). O relevo em Maracá varia de planícies de inundação, áreas sujeitas ao alagamento sazonal ou permanente, a terrenos elevados, com altitude que variam de 250 m a 330 m, localizados principalmente na porção oeste. No entanto predominam áreas de terras baixas com altitude máxima de 100 m e moderadamente dissecadas (McGregor e Eden, 1989). As características dos solos em Maracá foram definidas pelo material de origem, posição no relevo e regime hídrico do solo (Robson e Nortcliff, 1991). Devido à variação desses três fatores, vários tipos de solos foram identificados em Maracá, sendo os solos Podzólicos distróficos com baixa saturação de bases e textura variando de arenosa a argilosa são os mais abundantes, os quais estão entre os mais distróficos descritos para a região amazônica.

A Ilha de Maracá está situada sobre um limite biogeográfico e climático que marca a transição da vegetação: a oeste se localizam as florestas ombrófilas e a leste a maior planície de vegetação aberta da Amazônia, com predomínio de cerrado (Fragoso e Huffman, 2000), conhecida como “complexo Rio Branco-Rupununi” (Sarmiento e Monasterio, 1975) (Figura 1). Por influência da transição da vegetação e da heterogeneidade ambiental, Maracá resguarda amostras significativas de diversas fisionomias florestais, manchas de savanas, campinas, vegetação aquática em lagoas e bunitizais. A vegetação florestal é predominante e cobre mais de 85% da ilha. As florestas se dividem principalmente em duas fisionomias: floresta estacional semidecidual (40%) e floresta ombrófila (60%) (Furley e Ratter, 1994; Fragoso et al., 2003).

Existem poucos registros de interferência antrópica em Maracá. Em grande parte da ilha não há vestígios de ocupação humana (Hemming, 1994), somente a porção leste da ilha, principalmente áreas próximas ao furo Santa Rosa, foi habitada por indígenas

até o final do século XIX, os quais foram expulsos por fazendeiros que lá permaneceram até meados da década de 70 (Thompson et al., 1992). Nessa mesma parte da Ilha, região onde não ocorre grupamentos monodominantes de *P. gracilipes*, foi encontrado carvão nas camadas superficiais do solo (10-20 cm) bem como nas mais profundas (50 – 100 cm). Além do carvão presente no solo, também existem outros indícios de incêndios Holocênicos ou fogos recentes em Maracá, como árvores com troncos carbonizados (Thompson et al., 1992) ou cicatrizes de fogo em troncos de árvores (Barlow et al., 2010).

Material e métodos

O estudo foi conduzido no conjunto de parcelas permanentes estudadas por Nascimento et al. (1997), nas quais são conhecidas a composição florística, a estrutura das florestas e as características edáficas. Neste estudo foi adotada a classificação da vegetação utilizada por Nascimento et al. (1997), que categorizou as florestas de acordo com a dominância por *P. gracilipes* em i) FRP - Floresta Rica em *P. gracilipes* (Floresta semidecídua com monodominância de *P. gracilipes*), ii) FPP - Floresta Pobre em *P. gracilipes* (onde *P. gracilipes* ocorre, porém com dominância em área basal inferior a 50%) e iii) FSP - Floresta Sem *P. gracilipes* (Floresta ombrófila propriamente dita, onde *P. gracilipes* não ocorre). Em cada tipo florestal foram alocadas 3 parcelas de 50m x 50m dispostas aleatoriamente.

As amostras coletadas para quantificar a biomassa de raiz e o estoque de carvão ao longo do perfil do solo foram compostas de 3 subamostras. Cada subamostra foi obtida através de um amostrador de raízes, um tubo cilíndrico de 10 cm de comprimento por 8 cm de diâmetro. As coletas foram realizadas em cinco intervalos ao longo do perfil do solo (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm e 40-50 cm). No laboratório, o carvão e as raízes foram triados manualmente, sendo as raízes classificadas de acordo com seu diâmetro em i) muito finas (2-5 mm), ii) finas (5-10 mm), iii) médias (10–50 mm) e iv) grossas (> 50mm). O carvão e as raízes foram secos em estufa à 100°C até peso constante e pesados em balança de precisão de quatro casas decimais. A partir desses resultados foi estimado a biomassa de raízes e o estoque de carvão por unidade

de área desconsiderando a densidade aparente do solo. A variação na biomassa de raízes e no estoque de carvão entre as florestas e ao longo do perfil do solo foi avaliada de acordo com o tipo de distribuição das amostras através de análise de variância.

Resultados

A biomassa seca total de raízes, presente entre a profundidade de 0 a 50 cm do solo, variou de $20,74 \pm 6,52$ (média \pm DP) Mg/ha na FSP a $34,37 \pm 14,23$ Mg/ha na FRP, não apresentando diferença significativa ($F = 0,7014$, $P = 0,5324$). A distribuição total de raízes ao longo do perfil do solo não variou entre as florestas (Figura 2A) ($F = 0,1969$, $P = 0,9892$), mas variou em relação à profundidade do solo ($F = 3,2274$, $P = 0,0257$). Em todas as florestas analisadas, a biomassa total de raízes se concentrou nas camadas superficiais do solo de 0 a 20 cm (Figura 2A).

Não foi observado um padrão entre as florestas para a distribuição do total de biomassa de raiz em relação às classes de diâmetro (Figura 3). Cerca de 50% do total de biomassa seca de raízes nas florestas estudadas é composta por raízes muito finas e finas. Somente na FRP houve uma contribuição considerável de raízes grossas (diâmetro > 50 mm) de aproximadamente 32% do total de biomassa seca de raízes.

Em todas as florestas a concentração de raízes muito finas tendeu a diminuir à medida que se aumentava a profundidade do solo (Figura 2B), diferente das raízes finas, médias e grossas em que não foi observado o nenhum padrão (Figuras 2C, 2D, 2E). Foram encontradas raízes grossas somente nas camadas superficiais (0-20 cm) nas FRP e FSP (Figura 2E).

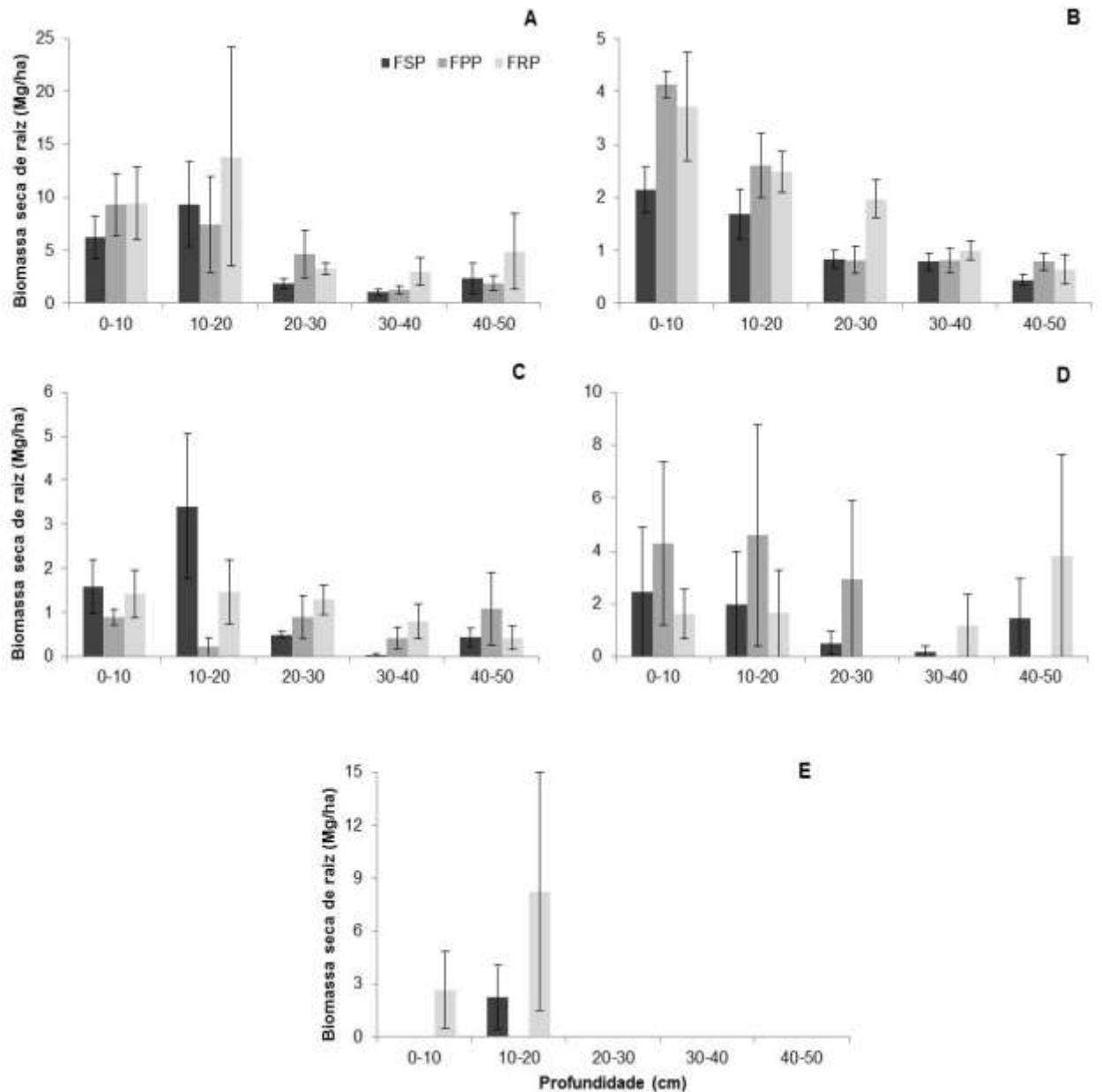


Figura 2. Distribuição da biomassa seca de raiz em relação a profundidade do solo (cm) entre as florestas FSP (Floresta Sem *Peltogyne gracilipes*), FPP (Floresta Pobre em *P. gracilipes*), FRP (Floresta Rica em *P. gracilipes*). A) biomassa seca de raízes total, B) biomassa seca de raízes muito finas (2mm - 5 mm de diâmetro), C) Biomassa seca de raízes finas (5mm - 10 mm de diâmetro), D) Biomassa seca de raízes médias (10mm - 50 mm de diâmetro) e E) Biomassa seca de raízes grossas (> 50 mm de diâmetro).

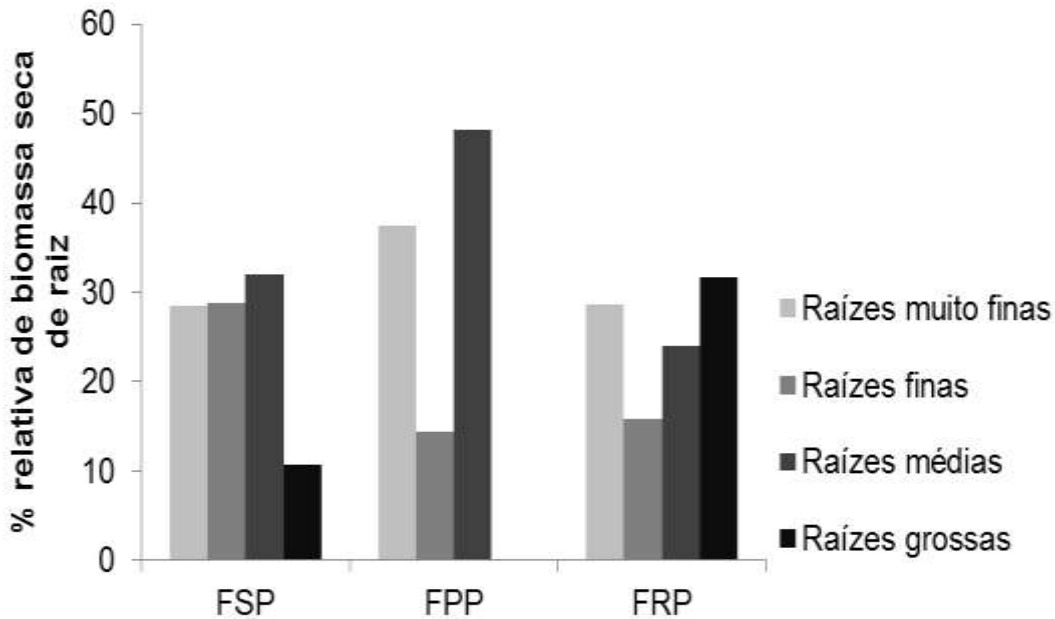


Figura 3. Percentual de biomassa seca de raiz de cada classe de diâmetro (muito finas, finas, médias e grossas) em relação ao total de biomassa seca de raiz nas florestas FSP (Floresta Sem *Peltogyne gracilipes*), FPP (Floresta Pobre em *P. gracilipes*), FRP (Floresta Rica em *P. gracilipes*) na Ilha de Maracá, Roraima.

O carvão estocado no solo variou entre as florestas ($F = 3.6895$, $P = 0.02936$) sendo o maior estoque de carvão encontrado na FSP (4.43 ± 1.63 Mg/ha). As FPP e FRP apresentaram estoques de carvão semelhantes variando de 0.65 ± 0.24 Mg/ha e 0.88 ± 0.34 Mg/ha respectivamente. Na FSP a maior parte do carvão está estocada nas camadas superficiais do solo (0 - 20 cm de profundidade), enquanto nas FRP e FPP a maior quantidade de carvão foi encontrada nas camadas mais profundas (30 - 50 cm) (Figura 4).

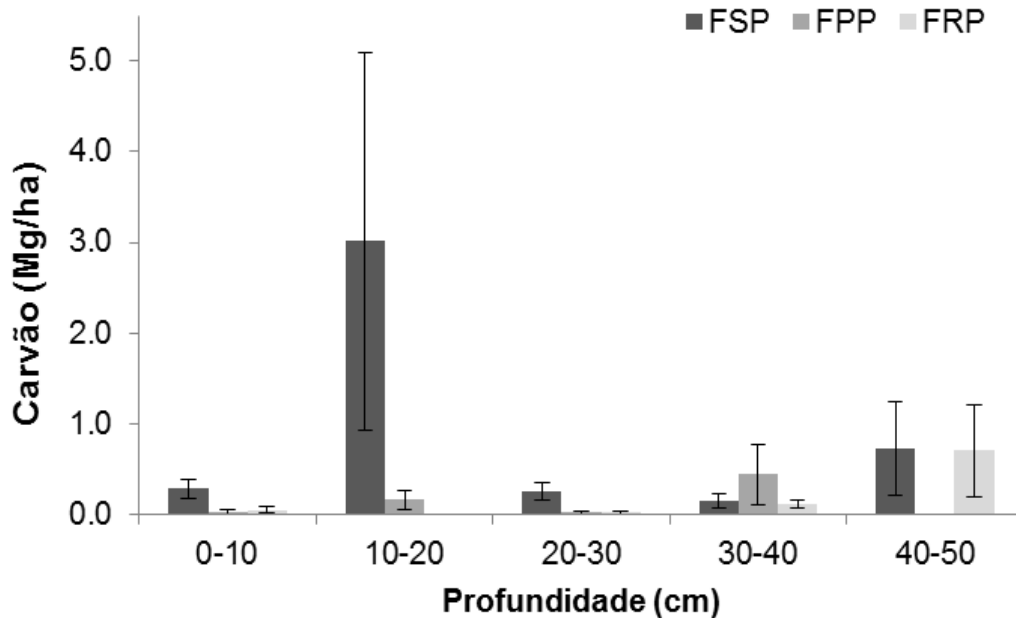


Figura 4. Distribuição do estoque de carvão (Mg/ha) ao longo da camada de 0 a 50 cm de profundidade do solo, em intervalos de 10 cm entre as florestas FSP (Floresta Sem *Peltogyne gracilipes*), FPP (Floresta Pobre em *P. gracilipes*), FRP (Floresta Rica em *P. gracilipes*) na Ilha de Maracá, Roraima.

Discussão

Grande parte dos trabalhos que estimaram a biomassa de raiz em florestas, consideraram apenas as raízes finas, com diâmetro até 5 mm, sendo escassos estudos que tenham consideraram raízes acima de 10 mm de diâmetro, o que dificulta a comparação dos resultados obtidos. Se comparada aos estudos que contemplaram florestas secundárias, como Pinto (2009), nos quais a biomassa total de raízes variaram de 6 a 18 Mg/ha, o estoque de biomassa nas raízes é maior nas florestas maduras em Maracá, mesmo o solo em Maracá sendo nutricionalmente muito deficiente segundo Robson e Nortcliff (1991). Leuschner et al. (2006) demonstraram que florestas secundárias ou exploradas não possuem a mesma capacidade de produção de florestas primárias ou intactas, que é maior devido a ciclagem de nutrientes estável e constante,



NÚCLEO DE
APOIO À
PESQUISA
EM RORAIMA

Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**

promovendo o maior desenvolvimento de raízes, sobretudo finas, que tem como função principal a absorção de água e nutrientes.

A maior concentração de raízes nas camadas superficiais, sobretudo de raízes finas, normalmente é relatada para solos arenosos, como os presentes em Maracá. De acordo com Rylter (1997), as raízes finas das plantas constituem um dos principais meios para acessar água e nutrientes do solo, e por isso, são mais abundantes nas camadas superficiais, que normalmente constituem o horizonte orgânico do solo, onde se concentram de 40 a 70% do total de biomassa dessas raízes (Ehrenfeld et al., 1992). O alto percentual de biomassa de raízes grandes na FRP nas camadas superficiais, pode estar associado à estrutura do sistema radicular da espécie dominante (*P. gracilipes*) que é predominantemente superficial.

A variação da estrutura vertical das florestas FSP, FPP e FRP na Ilha de Maracá, não se refletiu na biomassa e estrutura das raízes ao longo das camadas de 0 – 50 cm do solo. A variação espacial normalmente relatada para a biomassa de raízes, sobretudo de raízes finas (Jimenez et al 2009), está associada na maioria das vezes a composição físico-química do solo (Blair e Perfecto, 2001), a disponibilidade de água (Dowdy et al. 1995, Kätterer et al. 1995) e a topografia (Hertel et al., 2006; Espeleta e Clark, 2007). No entanto, como já relatado por Nascimento et al. (1997), o solo das florestas estudadas em Maracá tem composição físico-química muito semelhante, sobretudo quanto a textura arenosa e a baixa concentração dos principais elementos que definem o status nutricional do solo (N, P e Ca e K).

Embora grande parte dos resultados encontrados para biomassa de raiz esteja de acordo com o relatado para as florestas na região amazônica, é possível que a ausência de um padrão na distribuição da biomassa de raízes entre as florestas e ao longo do perfil do solo, esteja associada ao número de unidades amostrais utilizadas para representar cada tipo de floresta, que pode não ter sido suficiente para representar a grande variabilidade entre as unidades amostrais.

O valor médio de carvão estocado na camada de 0 – 50 cm do solo na FSP (4.43 Mg/ha) está bem próximo do reportado por Sanford et al. (1985) para os solos de floresta tropical de terra-firme do Alto Rio Negro (4,6 Mg ha⁻¹), diferente dos valores baixos encontrados nas FPP e na FRP. Como as florestas amostradas são muito

próximas, é possível que essa grande diferença não esteja somente associada à frequência e intensidade dos incêndios ocorridos nessas florestas, mas também ao tempo de permanência do carvão no solo. A drenagem deficitária dos solos da FRP, por exemplo, pode ser um fator que tenha colaborado para acelerar a fragmentação do carvão estocado nesses solos, resultando em um estoque menor em relação à FSP.

A maior concentração de carvão nas camadas superficiais (0 – 20 cm) difere do padrão normalmente relatado de maior concentração de carvão nas camadas entre 20 cm e 50 cm de profundidade para outras áreas ecotonais de Roraima (Desjardins et al., 1996). Esse resultado sugere que os incêndios em Maracá são mais recentes ou que a mobilização das partículas de carvão ao longo do perfil do solo é mais lenta. A datação desse material é extremamente importante para verificar se o carvão encontrado nessas florestas pode ter a mesma origem cronológica ou não.

Os carvões encontrados nas florestas em Maracá, além de fornecer informações importantes para refinar os modelos que estimam o estoque de carbono em florestas ecotonais, indicam que se pode descartar a influência do fogo no controle da dinâmica espaço-temporal entre as diferentes fisionomias florestas em Maracá, embora sejam necessárias análises mais específicas para o entendimento da relação entre a história cronológica dos incêndios e as florestas em Maracá, bem como em todo estado de Roraima.

Conclusão

A biomassa total das raízes (0-50 cm) não foi influenciada pela heterogeneidade florística e estrutural existente entre as florestas monodominantes (FRP e FPP) e ombrófilas (FSP) presentes na ESEC Maracá. A maior parte da biomassa de raízes é composta por raízes muito finas e finas, estando acumulada principalmente nas camadas superficiais do solo, seguindo um padrão exponencial de decaimento ao longo do perfil de profundidade.

Carvão do solo estava presente ao longo de toda a coluna de 0-50 cm de profundidade, indicando preliminarmente que o estoque de carvão foi mais pronunciado em FSP (solos bem drenados) e de 4-6 vezes menor em relação aos tipos florestais com

presença de *P. gracilipes* (solos mal drenados). Esse resultado deve ser visto com ressalvas devido à grande variabilidade espacial que é natural nestes componentes florestais de origem pirogênica, e ao reduzido número de parcelas amostrais utilizadas neste estudo, sendo necessária uma amostragem de maior amplitude espacial e vertical para evitar valores *outliers*.

Referências Bibliográficas

- Bigarella, J.J., Ferreira, A.M.M. (1985). *Amazonian geology and the Pleistocene and the Cenozoic environments and paleoclimates*. In: Prance, G.T.& Lovejoy, T.E. (Eds.) Amazonia Pergamon. p. 49-71.
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. (1999). Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do Evento El Niño (1997/98). *Acta Amazônica*, 29 (4):513-534.
- Barlow, J., Silveira, J.M., Cochrane, M.A. (2010). Fire scars on Amazonian trees: exploring the cryptic fire history of the Ilha de Maracá. *Biotropica*, 42(4):405-409.
- Blair, B. C.; Perfecto. (2001). I. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan Rain Forest. *Biotropica*, 33(4): 697-701.
- Brasil, 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: MCT. 520p.
- Carvalho, L.C.S. (2014) *Ecologia e estrutura filogenética em uma floresta monodominante na Amazônia*. 188p. Tese (doutorado em Ecologia e Recursos Naturais, área de concentração em Ecologia de Organismos) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ.



NÚCLEO DE
APOIO À
PESQUISA
EM RORAIMA

Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**

- Desjardins, T., Filho, A.C., Mariotti, A., Girardin, C., Chauvel, A. (1996). Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon, *Oecologia*, 108(4) 749–756.
- Dowdy, R.H.; E.A. Nater; .S. Dolan. (1995). Quantification of the length and diameter of root segments with public domain software. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26:459--468.
- Durigan, G., A.C.G. Melo, J.S. Brewer. (2012). The root to shoot ratio of trees from open- and closed-canopy cerrado in south-eastern Brazil. *Plant Ecology & Diversity*. 5: 1–11.
- Eden, M.J., McGregor, D.F.M. (1989.) *Maracá Rain Forest Project: Geography Report*. Royal Geographical Society, London.
- Ehrenfeld, J.; Kaldor, E.; Parmelee, R. W. (1992). Vertical distribution of roots along a soil toposequence in the New Jersey Pinelands. *Canadian Journal of Forest Research*, 22:1929-1936.
- Espeleta, J.F.; Clark, D.A. (2007). Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rainforest: a seven-year study. *Ecological Monographs*, 77 (3): 377-404.
- Forbes, M.S.; Raison, R.J.; Skjemstad, J.O. 2006. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 370: 190-206.
- Fragoso, J.M.V., Huffman, J. (2000). Seed-dispersal and seedling recruitment patterns by the last Neotropical mega- faunal element in Amazonia, the tapir. *Journal of Tropical Ecology*, 16:369-385.
- Furley, P.A., Ratter, J. A. (1994). Soil and plant change at the forest-savanna boundary on Maracá Island. In: Hemmings, J. (Ed.). *The rainforest edge: plant and soil ecology of Maracá Island, Brazil*. Manchester University Press, New York, p. 92-114.
- Hart, T.B. (1990). Monospecific dominance in tropical rain forests. *Trends in Ecology and Evolution*, 5:6-11.



NÚCLEO DE
APOIO À
PESQUISA
EM RORAIMA

Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**

Hemming, J. (1994) *The rainforest edge: plant and soil ecology of Maraca Island, Brazil*. Manchester University Press, Manchester, UK. 186P.

Hertel D, Hölscher D, Köhler L, Leuschner C. (2006). Changes in fine root system size and structure during secondary succession in a Costa Rican Montane Oak Forest. *Ecological Studies*, 185, 283-297.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Appendix 1: CO₂ Removals in Residual Combustion Products (charcoal): Basis for Future Methodological Development). In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K (Eds.), National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES.

Jiménez, E. M. et al. (2009) Fine root dynamics for forests on contrasting soils in the Colombian Amazon. *Biogeoscience*, 6, 2809-2827.

Veiga Pinto, J. L. P. (2009). *Biomassa, volume e nutrientes de raízes em florestas secundárias na Amazônia*. Dissertação. INPA, departamento de Ecologia.

Kätterer, T., A. Fabião, M. Madeira, C. Ribeiro, E. Steen. (1995). Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes. *Forest Ecology and Management* 74:1-12.

Lehmann, J.; Gaunt, J.; Rondon, M. 2006. Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 395-419.

Leuschner, C.; Wiens, M.; Harteveld, M.; Hertel, D.; Tjitrosemito, S. (2006). Patterns of fine root mass and distribution along a disturbance gradient in a tropical montane forest, Central Sulawesi (Indonesia). *Plant and Soil*, v. 283, p. 163-174, <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-006-6638-5>

Nascimento, M.T., Proctor, J., Villela, D.M. (1997). Forest structure, floristic composition and soils of an Amazonian monodominant forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. *Edinburgh Journal of Botany*, 54:1 38.

- Nortcliff, S., Robison, D. (1998). The Soils of the Ilha de Maracá. In: Milliken, W.; Ratter, J.A. (Eds). *The Biodiversity & Environment of an Amazonian Rainforest*. Inglaterra, John Wiley & Sons. p. 47-70.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T. A. (2007). Uptaded world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11:1633-1644.
- Rylter, R. M. (1997). *Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows*. Thesis (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Sanford Jr., R. L., J. Saldarraiga, K. Clark, C. Uhl, R. Herrera. (1985). Amazon rainforest fires. *Science*, 227: 53–55.
- Sarmiento, G., Monasterio, M., (1975) *A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America*. In: F. B. Golley & E. Medina (eds.), *Tropical ecological systems*. Springer, New York. p. 223-250.
- Thompson, J., Proctor, J., Viana, V., Milliken, W., Ratter, J.A., Scott, D. A. (1992) Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. I. Physical environment, forest structure and leaf chemistry. *Journal of Ecology*, 80:689-703.
- Veenendaal, E. M., Torello-Raventos, M., Feldpausch, T. R., Domingues, T. F., Gerard, F., Schrod, F., Saiz, G., Quesada, et al. (2014). Structural, physiognomic and aboveground biomass variation in savanna-forest transition zones on three continents. How different are co-occurring savanna and forest formations? *Biogeosciences Discussions*, 11(3), 4591-4636.