

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Programa de Pesquisa em Biodiversidade
PPBio Amazônia



PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DE RAÍZES EM SAVANAS

Jhonson Reginaldo Silva Santos

Reinaldo Imbrozio Barbosa

Boa Vista – Roraima
2016

Copyright © 2016, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Créditos fotográficos

Reinaldo Imbrozio Barbosa

Jhonson Reginaldo Silva Santos

Revisão do texto

Reinaldo Imbrozio Barbosa

Presidente da República
Michel Temer

Ministro da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Gilberto Kassab

Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Luiz Renato de França

EDITORA INPA - Editor: Mario Cohn-Haft. Produção editorial: Rodrigo Verçosa, Shirley Ribeiro Cavalcante, Tito Fernandes. Bolsistas: Brenda Costa, Jasmim Barbosa, Lucas Souza, Natália Nakashima e Sabrina Trindade.

S237 Santos, Jhonson Reginaldo Silva

Protocolo experimental para estimativa da biomassa de raízes em Savanas / Jhonson Reginaldo Silva Santos, Reinaldo Imbrozio Barbosa. --- Manaus: Editora INPA, 2016.

16 p. : il. color.

ISBN 978-85-211-0164-2

1. Raízes. 2. Savanas. 3. Protocolo. I. Barbosa, Reinaldo Imbrozio. II. Título.

CDD 581.498



Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Av. André Araújo - 2936 - Aleixo

Manaus-AM, Brasil - CEP 69067-375

Fone: +55 (92) 3643 3223



Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Programa de Pesquisa em Biodiversidade
PPBio Amazônia



PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA ESTIMATIVA DA BIOMASSA DE RAÍZES EM SAVANAS ⁽¹⁾

Jhonson Reginaldo Silva Santos
(*in memoriam*)

Mestre em Recursos Naturais
Escola Agrotécnica - Universidade Federal de Roraima (EAGRO/UFRR)

Reinaldo Imbrozio Barbosa (*)

Pesquisador Titular III - INPA/CDAM – Núcleo de Roraima
R. Coronel Pinto 315 – Centro
69301-970 Boa Vista – Roraima – Brasil
reinaldo@inpa.gov.br

(*) Autor Correspondente

Boa Vista – Roraima
Dezembro de 2016

¹ Aplicado nos módulos de savana do PPBio (Cauamé e Água Boa) em Roraima entre 2009 e 2010. O estudo foi requisito da dissertação de mestrado do primeiro autor e foi publicado como *Barbosa, R.I; Santos, J.R.S.; Cunha, M.S; Pimentel, T.P.; Fearnside, P.M. 2012. Root biomass, root:shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. Australian Journal of Botany, 60: 405-416.*

1. INTRODUÇÃO

Biomassa de raízes é uma importante métrica para estimar o armazenamento de carbono subterrâneo em diferentes biomas terrestres (Jackson *et al.* 1996). Essa importância é amplificada em se tratando dos ecossistemas de vegetação aberta da Amazônia brasileira devido ao baixíssimo nível de informações sobre fluxos e estoques de carbono nesses ambientes regionais (Barbosa *et al.* 2007; Turcios 2015). Essa demanda por informações é refletida no grau de incertezas que os dados sobre esses ecossistemas possuem dentro do arcabouço dos inventários nacionais sobre emissão de gases do efeito estufa no Brasil (Bustamante *et al.* 2015). Desta forma, o papel dos ecossistemas de vegetação aberta na Amazônia pode estar sendo subestimado no contexto da mitigação dos impactos gerados pelas mudanças climáticas devido a falta de dados na macro-escala regional. Assim sendo, o objetivo desse protocolo é o de descrever um método para estimar a biomassa de raízes em áreas de vegetação aberta da Amazônia, com o intuito de ampliar e melhorar as estimativas regionais de estoque de carbono subterrâneo. O método apresentado no protocolo deriva de um estudo realizado experimentalmente em dois módulos de savana do PPBio instalados em Roraima (Campus do Cauamé – UFRR e Campo Experimental Água Boa - Embrapa Roraima) (Barbosa *et al.* 2012). Neste protocolo, o conceito de “raiz” segue o preconizado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2006), indicando que esse componente subterrâneo é definido por estruturas com diâmetro ≥ 2 mm, sendo esse critério baseado na dificuldade de se distinguir raízes menores que 2 mm (pouco lignificadas) da matéria orgânica do solo⁽²⁾. As questões associadas a este protocolo podem principalmente providenciar (i) estimativas do estoque de biomassa e carbono subterrâneo contido em diferentes categorias de diâmetro das raízes, (ii) padrões gerais de distribuição vertical de raízes por fitofisionomias e tipos de solo, (iii) razão raiz:parte aérea (*root:shoot ratio*) e (iv) estudos sobre o efeito dos fatores ambientais no estoque de biomassa de raízes.

2. MÉTODOS

Cada parcela⁽³⁾ estabelecida nos módulos do PPBio em Roraima foi considerada como uma unidade amostral ($n=1$) para as estimativas de biomassa de raízes. Cada parcela foi relacionada a uma fitofisionomia dominante e suas condicionantes ambientais (variáveis edáficas, topografia, drenagem, etc.). Assim sendo, dois procedimentos foram previamente necessários em cada parcela antes da amostragem das raízes: (i) inventário arbóreo-arbustivo para definição da fitofisionomia dominante até “subclasse de formação” (savana parque, savana gramíneo-lenhosa, etc.), conforme o sistema de classificação da vegetação brasileira (IBGE 2012) e, (ii) coleta de solo para obtenção dos dados de fertilidade e textura. Nesse último caso, as variáveis edáficas são disponibilizadas diretamente na página oficial de cada módulo do PPBio. Outras variáveis (e.g. drenagem, relevo, classes de solo) podem ser derivadas do sistema de classificação dos solos do Brasil (EMBRAPA-SOLOS 2006) como forma de ampliar o espectro das análises.

2.1 Desenho Amostral

Finalizada a etapa do inventário e da coleta de solo nos dois módulos, seguiu-se a coleta das raízes utilizando amostradores (ou coletores) verticais de solo que configuram uma

² Relevantes estudos indicam que as raízes finas (< 2 mm) são importantes reservatórios de carbono terrestre (Jackson *et al.* 1997). Contudo, para manter o padrão global de estimativas dos estoques de carbono, nós optamos por manter a definição do IPCC (2006).

³ Todas as parcelas do PPBio possuem uma linha central de caminhamento de 250 de comprimento que é delimitada por “piquetes” fixados de 10 m em 10 m, seguindo uma mesma curva de nível com altitude conhecida, conforme padrão conceitual seguido pelo Programa (Magnusson *et al.* 2005).

amostragem destrutiva. A amostragem das raízes foi realizada tomando como base um conjunto de quatro subunidades amostrais distribuídas de forma equidistante e alternada ao longo dos 250 m de comprimento de cada parcela. O esquema amostral adotado nos módulos de Roraima delimitou que a primeira subamostra fosse instalada à direita (D) do piquete de 50 metros, a uma distância perpendicular de 5 m⁽⁴⁾, tendo como referência a linha central de caminhamento da parcela (Figura 1). As demais subamostras foram fixadas alternadamente aproveitando os piquetes de 100 m (E - esquerda), 150 m (D) e 200 m (E). O objetivo deste desenho foi o de captar a variabilidade ambiental aproveitando a parte central de cada parcela (50 m a 200 m) e excluindo-se os piquetes inicial (0 m) e final (250 m), pois são os mais expostos por perturbações relacionadas ao trânsito e descanso das equipes de pesquisa. A direção (E ou D) do estabelecimento das subamostras pode ser alterada caso o local exato da coleta tenha algum tipo de impedimento físico como material rochoso (e.g. matacões de laterita) ou cursos d'água (e.g. pequenos igarapés ou lagos), muito comuns em áreas de savana da Amazônia. Contudo, a inversão do local de uma subamostra não deve implicar na troca de posicionamento das demais. Em qualquer outra situação o desenho deverá permanecer da forma original para garantir a representatividade da variabilidade natural da fitofisionomia e das condições ambientais gerais.

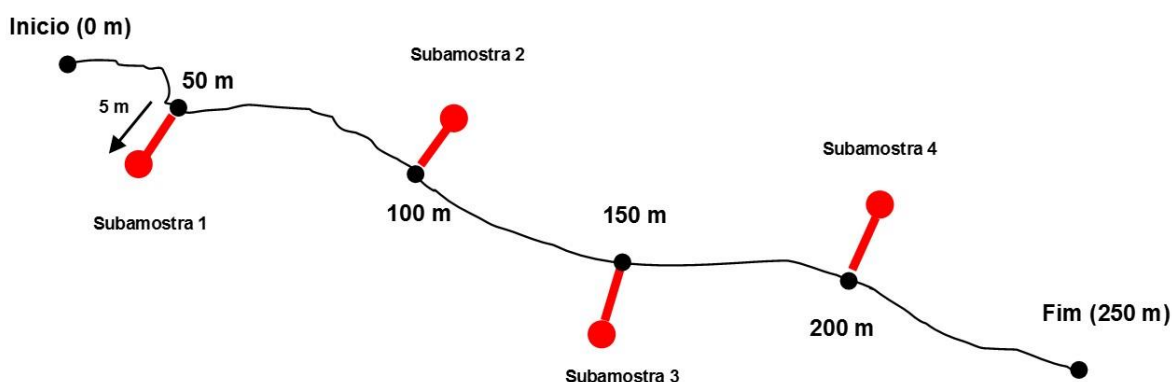


Figura 1 – Esquema experimental dos locais de coleta de biomassa de raízes em uma parcela amostral.

2.2 Estimativa da Biomassa Aérea

Juntamente com os procedimentos para a amostragem das raízes ao longo do perfil vertical do solo nas quatro sub-unidades amostrais, foi necessário realizar tarefas paralelas para estimar o total da biomassa aérea (herbácea + arbóreo-arbustiva) que serviram como base para o cálculo da razão *root:shoot* (Abdala *et al.* 1998).

⁴ Esse distanciamento foi adotado porque as parcelas de savana do PPBio em Roraima possuem 10 m de largura máxima (5 m de cada lado da linha central de caminhamento). Assim sendo, a amostragem de raízes, que é tipicamente destrutiva, não afeta as demais investigações que são rotineiramente realizadas dentro do perímetro de cada parcela.

2.2.1 Biomassa Herbácea

Biomassa herbácea é formada pelos elementos do estrato gramíneo (Poaceae, Cyperaceae, ervas e plântulas com diâmetro de base inferior a 2 cm). Em ambientes de vegetação aberta, como as savanas do norte amazônico, este grupo de plantas é muito representativo e pode alcançar > 90% em formações com restrições edáficas e/ou anoxia temporal (Barbosa e Fearnside 2005). Desta forma, esse grupo foi amostrado tomando como base os mesmos quatro pontos definidos para a subamostragem das raízes. Em cada local estabelecido como subamostra os elementos herbáceos foram coletados de forma destrutiva utilizando como referência um gabarito (madeira ou metal) de área igual a 1 m² (1 m x 1m), onde o centro do gabarito representa o exato local da futura coleta de raízes (Figura 3). No caso do gabarito se situar onde caule(s) de árvore(s) ou arbusto(s) esteja(m) presente(s), deverá ser usado um gabarito de barbante mantendo-se o centro da parcela em sua forma original. Isto deve ser feito no sentido de evitar o deslocamento do gabarito ou mesmo o corte de indivíduos lenhosos.

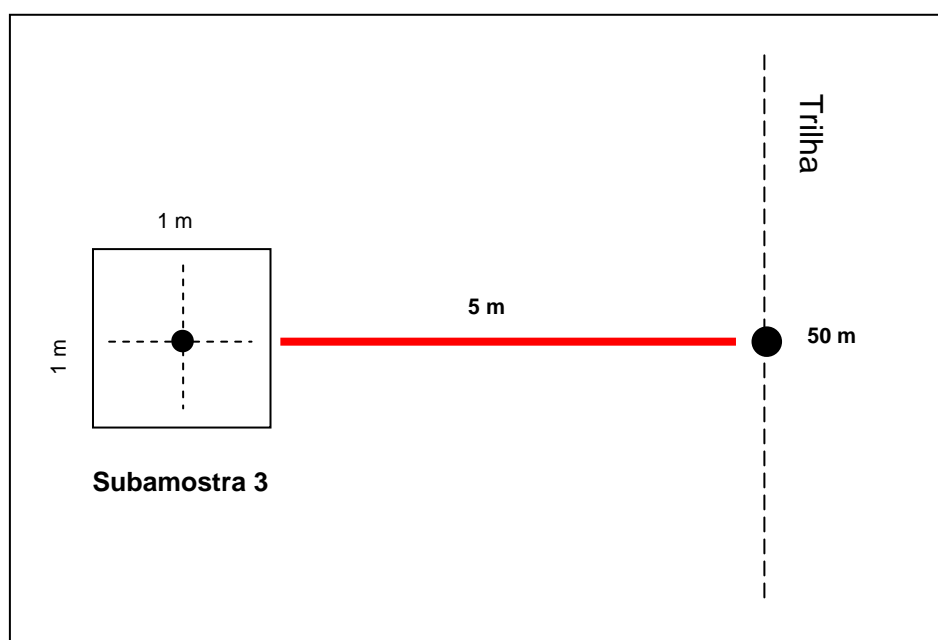


Figura 3 – Esquema do estabelecimento do gabarito para amostragem da biomassa aérea herbácea.

Dentro do perímetro do gabarito toda a biomassa herbácea deve ser cortada rente ao solo com o auxílio de lâminas metálicas, obtendo-se o peso úmido total de cada subamostra a partir de uma balança mecânica (e.g. tipo Pesola com precisão 0,1 g) (Barbosa e Fearnside 2005). Ainda em campo, uma fração representativa (~100 g de peso úmido) de toda a biomassa extraída do perímetro do gabarito deve ser levada ao laboratório para determinação de seu peso seco, utilizando-se da mesma balança de campo. Sugere-se que o peso do saco (plástico ou papel) que foi utilizado para acondicionar a fração de biomassa levada ao laboratório deva ser descontado do total observado. Esta etapa do trabalho serve de base para a estimativa da biomassa herbácea de cada parcela por meio da média simples do peso seco obtido nas quatro subamostras (g por 4 m²). O valor médio deve ser transformado em estoque de biomassa herbácea acima do solo por unidade de área (e.g. kg ha⁻¹) em cada parcela⁽⁵⁾.

⁵ Em caso de interesse do investigador, a biomassa ainda pode ser dividida em viva e morta.

2.2.2 Biomassa Arbóreo-arbustiva

A biomassa arbóreo-arbustiva é definida por elementos lenhosos que possuam diâmetro de base (Db) ≥ 2 cm, onde o Db é tomado a 2 cm da superfície do solo ou imediatamente acima das deformidades naturais do caule que ocorrem corriqueiramente em indivíduos que são atingidos por fogo frequentemente. Desta forma, cada indivíduo dentro desse critério deve ter seus parâmetros alométricos dimensionados: Db = diâmetro de base; Dc = diâmetro da copa reconhecido como a média do maior e do menor diâmetro da copa do indivíduo; Ht = altura total. Estes parâmetros devem ser tomados na fase do inventário (Araújo e Barbosa 2007) e servem de base para estimar a biomassa arbóreo-arbustiva aérea de cada indivíduo de forma indireta a partir dos modelos de regressão estabelecidos por Barbosa e Fearnside (2005). Com os resultados individuais, calcula-se o estoque de biomassa desse componente por unidade de área (e.g. kg ha^{-1}). A biomassa aérea total (herbácea + arbóreo-arbustiva) deve ser utilizada como denominador na determinação da relação *root:shoot* de cada uma das parcelas (Barbosa *et al.* 2012).

2.3 Biomassa de Raízes (subterrânea)

Finalizada a estimativa da biomassa aérea, a amostragem das raízes será realizada a partir da coleta de solo nos quatro pontos previamente estabelecidos em cada parcela, tomando como referência básica uma profundidade mínima de 50 cm e pelo menos cinco seções fracionadas ao longo do perfil vertical: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm e 40-50 cm. Esta profundidade e o seccionamento são sugeridos como padrão inicial mínimo porque a maior parte da literatura especializada indica que neste intervalo estão concentrados os maiores estoques de biomassa de raízes. Contudo, estudos nos cerrados do Brasil Central (Abdala *et al.* 1998) e nas savanas africanas (Freycon *et al.* 2014) indicam que grandes estoques de raízes podem ocorrer em profundidades superiores a 2 m.

2.3.1 Coletor de Raízes

Como os solos de áreas de savanas possuem alta coesão devido à rápida perda de umidade, nós sugerimos o uso de um amostrador ou coletor específico para raízes que pode ser obtido em empresas especializados (e.g. www.eijkelkamp.com ou www.forestry-suppliers.com). Opcionalmente, nós realizamos o mesmo trabalho a partir da confecção de um coletor metálico de baixo custo, construído experimentalmente com 80 cm de comprimento por 10 cm de diâmetro, adaptado para coletas a profundidades de até 50 cm em solos com alta coesão (Figura 4). O coletor arquitetado é um monólito tubular confeccionado em material metálico com 2 mm de espessura e graduado de 10 cm em 10 cm no sentido de prover informações independentes sobre diferentes profundidades no perfil do solo. O coletor possui uma haste de rosca de 1 m de comprimento com um complemento circular (disco metálico) de 9,9 cm de diâmetro em sua ponta (0,1 cm inferior ao diâmetro do tubo metálico do coletor). A haste e o complemento circular servem para auxiliar a extração do monólito de solo do interior da coluna, funcionando como um êmbolo. No ato do posicionamento de inserção do coletor no solo, o disco metálico é colocado dentro do tubo e, em seguida, a haste é fixada ao disco para posterior extração do solo (pressão de cima para baixo). O objetivo da haste com o disco é o de possibilitar a extração total ou das seções individuais (10 cm em 10 cm) da coluna de solo fixada dentro do coletor. Coletores de menor diâmetro e maior comprimento total, para avaliações em profundidades maiores, podem ser confeccionados sem nenhum tipo de prejuízo dos passos seguidos deste protocolo.

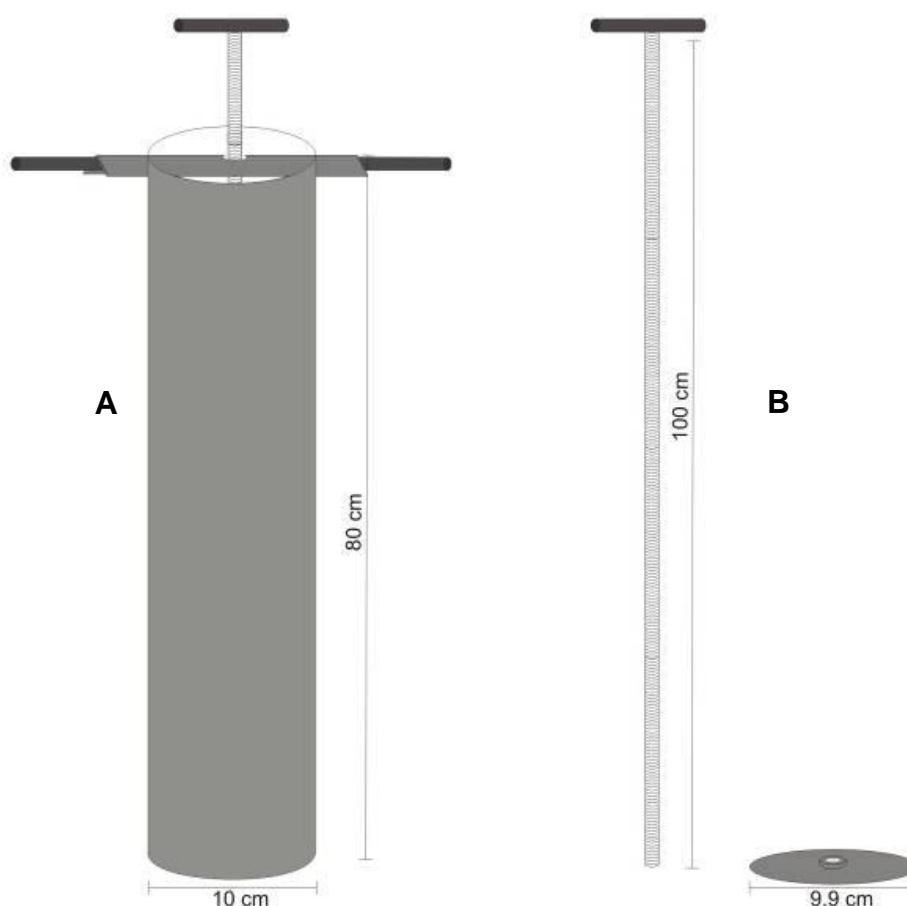


Figura 4 – Esquema geral do amostrador (coletor) de raízes arquitetado e construído por J. R. S. Santos: (A) estrutura externa do Coletor e (B) haste de 1 m com complemento circular (9,9 cm) para extração e controle da amostragem vertical.

2.3.2 Coleta do Solo

Feita a escolha do tipo de amostrador, nós procedemos às coletas individuais nos quatro pontos subamostrais, introduzindo o coletor no ponto central do gabarito de 1 m² (Figura 5). Para evitar perdas de solo por derruimento do monólito, nós cavamos um buraco lateral ao ponto de coleta com o intuito de auxiliar na retirada do próprio monólito e das amostras fracionadas ao longo do perfil. Retirado o monólito do solo, as amostras seccionadas de cada profundidade foram obtidas por pressão de cima para baixo utilizando-se a haste graduada fixada ao disco de metal (Figura 6). Em todos os casos as amostras foram conservadas em sacos de plástico, com a devida identificação, sendo em seguida pesadas (peso de campo, considerado como peso fresco) com o auxílio de uma balança (2,5 kg; precisão ± 50 g), antes do encaminhamento ao laboratório para determinação do peso seco ao ar e posterior separação das raízes.



Figura 5 – Introdução do coletor no solo para início do processo de amostragem da biomassa de raízes (notar que a biomassa herbácea já foi coletada).



Figura 6 – Uso da haste metálica para auxiliar a retirada de cada seção do perfil vertical do solo. Extração das seções deve ser realizada em campo.

Com as amostras de solo devidamente secas (ao ar) e novamente pesadas, nós calculamos a umidade (base peso seco, Equação 1) e a densidade aparente assumida (Daa, Equação 2)⁽⁶⁾ de cada seção do perfil utilizando as fórmulas expressas abaixo. Ambos os resultados foram utilizados para o cálculo de biomassa de raízes total por unidade de área e volume de solo, em cada seção de profundidade. Antes da separação das raízes do solo, uma pequena amostra de 50 g de solo foi retirada de cada seção do perfil no sentido de manter um testemunho para futuras análises químicas e físicas. Esta fração de solo testemunho foi descontada de cada seção para evitar viés nas estimativas gerais de biomassa de raízes.

$$Um = \frac{PU - PS}{PS} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- . Um (%) = umidade da amostra de solo em porcentagem;
- . PU (g) = peso fresco da amostra determinado em campo;
- . PS (g) = peso seco da amostra determinado no laboratório;

$$Daa = \frac{PS}{V} \quad (2)$$

Onde:

- . Daa (g cm⁻³) = densidade aparente assumida para cada amostra;
- . PS (g) = peso seco da amostra determinado no laboratório;
- . V (cm³) = volume da amostra, calculado pela fórmula do volume do cilindro que cada amostra comporta por perfil vertical;

2.4 Triagem das Raízes

Terminada a fase de campo, as amostras de solo foram submetidas a dois processos de peneiramento: a primeira com uma peneira de malha metálica com crivo de 5 mm de abertura que serviu para o destorroamento do material mais grosseiro e, a segunda, com uma peneira de malha de 2 mm para separação física das partículas de solo das raízes. Em ambos os casos foi realizada uma triagem manual de raízes. As raízes triadas preliminarmente foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas por parcela, ponto da subamostra e seção de profundidade do perfil. Após o peneiramento e triagem iniciais, o solo residual foi submetido ao processo de flotação da mesma forma como indicado por Delitti *et al.* (2001). Este método consiste em adicionar água ao solo residual para que o material vegetal (mais leve) e não visível na primeira etapa, flutue e possa ser recolhido e somado ao anterior. Neste caso podem foram utilizadas duas peneiras de malhas finas (e.g. 0,25 mm e 0,212 mm) para separação do material mineral das raízes. A primeira com o intuito de retirar o material residual mais grosseiro e, o segundo, para refinar a coleta. Pedacos de carvão⁽⁷⁾, folhas ou outros resíduos “não-raízes” visíveis, foram eliminados da amostra. Sierra *et al.* (2003) indicam que o método da lavagem do solo pode produzir erros e prejudicar a estimativa de biomassa das raízes por causa da perda ou exclusão inadequada de material. Entretanto, métodos de separação de raízes do solo automatizados e

⁶ O método comumente empregado para cálculo da densidade aparente utiliza amostras indeformadas realizadas com o “Anel de Kopecky” retiradas da parede lateral do perfil do solo. Este protocolo está assumindo o cálculo da biomassa de raízes por volume de solo a partir do valor de densidade aparente estimada das amostras de solo deformadas em diferentes profundidades.

⁷ Peças de carvão podem gerar importantes informações acopladas com a biomassa das raízes e deveriam ser considerados em estudos paralelos (Turcios *et al.* 2016).

sofisticados, como por exemplo o extrator de raízes de Benjamin e Nielsen (2004), podem encarecer o processo de triagem e não produzir o efeito desejado na acuracidade. Uma opção mais realista e barata é fornecida por Metcalfe *et al.* (2007) através de um sistema que utiliza como padrão a triagem de raízes por intervalos de tempo. Esse método pode ser adotado como forma alternativa ao utilizado como padrão neste protocolo (lavagem) como forma de realizar um estudo comparativo.

Finalizada a triagem, todo o material deve ser distinto por categoria de diâmetro. Nós estamos sugerindo que sejam utilizadas as classes de 2-5 mm (raízes finas), 5-10 mm (intermediárias finas), 10-50 mm (intermediárias grossas) e > 50 mm (grossas), que é uma adaptação ao sugerido por Snowdon *et al.* (2002) e utilizado por Turcios (2015) em ilhas de mata dispersas na zona de contato savana-floresta de Roraima. Nós realizamos essa tarefa com o auxílio inicial de uma régua metálica graduada em milímetros. Boa parte desta atividade foi facilitada com a sequência do trabalho, pois a distribuição das categorias passou a ser quase que automática devido ao costume do olhar humano. Todas as raízes triadas foram secas em estufa a 70°C até atingir peso constante (Figura 7). Em seguida, todas as categorias foram devidamente pesadas (g) e anotadas no banco de dados geral para a construção da média de biomassa subterrânea por profundidade e categoria de diâmetro em cada parcela. O resultado da densidade aparente do solo (Daa) assumida nesse protocolo foi utilizado nesta fase para as devidas correções por unidade de área e volume de solo, em cada seção de perfil amostrado nas parcelas. O resultado de biomassa de cada parcela foi a média da soma de cada um dos quatro perfis de profundidade amostrados ajustados pelo peso seco e pela densidade aparente do solo, como indicado por Barbosa *et al.* (2012).



Figura 7 – Biomassa de raízes recém-coletadas para secagem em estufa até peso constante.

3. SÍNTESE DO PROTOCOLO

Item	Ação
1	Identificação fitofisionômica de cada uma das parcelas e investigação (ou resgate das informações) sobre a classificação do solo onde as parcelas estão estabelecidas.
2	Inventário arbóreo-arbustivo e medição dos parâmetros biométricos dos indivíduos lenhosos (Db= diâmetro de base; Dc= diâmetro da copa; Ht= altura total)
3	Marcação do local onde cada uma das quatro subamostras de raízes será realizada.
4	Coleta destrutiva da biomassa herbácea no local onde cada uma das subamostras de raízes será realizada (uso do gabarito de 1 m ²).
5	Coleta de solo em um perfil vertical mínimo de 50 cm de profundidade subdividido em seções de 10 cm. Ensacamento, peso úmido de campo e envio ao laboratório.
6	Peso seco ao ar e determinação da densidade aparente assumida de cada uma das amostras na coluna do solo.
7	Alocação do testemunho de 50 g por cada seção da coluna de solo para cada subamostra para possibilitar outras análises químicas e físicas (e.g. ao longo do perfil), além daquelas fornecidas pelo PPBio.
8	Triagem das raízes por peneiração e catação manual.
9	Ao solo residual, adicionar água para separação das raízes residuais e outros materiais não-raízes (carvões e material orgânico não identificado). Usar peneira de crivo igual ou inferior a 0,25 mm.
10	Separação das raízes por classes de diâmetro.
11	Secagem das raízes em estufa até peso seco constante (~70°C).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, G.C.; Caldas, L.S.; Haridasan, M.; Eiten, G. 1998. Above and belowground organic matter and root : shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Ecology*, 2: 11-23.
- Araújo, A.C.O.; Barbosa, R.I. 2007. Riqueza e diversidade do estrato arbóreo-arbustivo de duas áreas de savanas em Roraima, Amazônia Brasileira. *Mens Agitat*, 2(1): 11-18.
- Barbosa, R.I.; Campos, C.; Pinto, F.; Fearnside, P.M. 2007. The “Lavrados” of Roraima: Biodiversity and Conservation of Brazil’s Amazonian Savannas. *Functional Ecosystems and Communities*, 1(1): 29-41.
- Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 2005. Above-ground biomass and the fate of carbon after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 216(1-3): 295-316.
- Barbosa, R.I.; Santos, J.R.S.; Cunha, M.S.; Pimentel, T.P.; Fearnside, P.M. 2012. Root biomass, root: shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. *Australian Journal of Botany*, 60: 405-416.
- Benjamin, J.G.; Nielsen, D.C. 2004. A method to separate plant roots from soil and analyze root surface area. *Plant and Soil*, 267: 225–234.
- Bustamante, M.; Santos, M.M.O.; Shimbo, J.Z.; Cantinho, R.Z.; Bandeira de Mello, T.R.; Carvalho e Oliveira, P.V.; Cunha, P.W.P.; Martins, F.S.R.V.; Aguiar, A.P.D.; Ometto, J. 2015. *Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa (Relatórios de Referência): Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas* Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Brasília, DF, Brazil. <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706165/RR_LULUCF_Mudan%C3%A7a+de+Uso+e+Floresta.pdf/11dc4491-65c1-4895-a8b6-e96705f2717a>.
- Delitti, W.B.C.; Pausas, J.G.; Burger, D.M. 2001. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. *Annals of Forest Science*, 58: 713–721.
- EMBRAPA-SOLOS. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 306 pp.
- Freycon, V.; Wonkam, C.; Fayolle, A.; Laclau, J.-P.; Lucot, E.; Jourdan, C.; Cornu, G.; Gourlet-Fleury, S. 2014. Tree roots can penetrate deeply in African semi-deciduous rain forests: evidence from two common soil types. *Journal of Tropical Ecology*, 31(1): 13-23.
- IBGE. 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos* (2a ed.). IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 275 pp.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In Eggleston H.S., B.L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Ed.), *National Greenhouse Gas Inventories Programme (Agriculture, Forestry and Other Land Use)*. Kanagawa, Japan

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

Jackson, R.B.; Canadell, J.; Ehleringer, J.R.; Mooney, H.A.; Sala, O.E.; Schulze, E.D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108: 389-411.

Jackson, R.B.; Mooney, H.A.; Schulze, E.D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 94: 7362-7366.

Magnusson, W.E.; Lima, A.P.; Luizão, R.; Luizão, F.; Costa, F.R.C.; Castilho, C.V.; Kinupp, V.F. 2005. RAPELD: A modification of the Gentry Method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. *Biota Neotropica*, 5(2): 19-24.

Metcalf, D.B.; Williams, M.; Aragão, L.E.O.C.; da Costa, A.C.L.; de Almeida, S.S.; Braga, A.P.; Gonçalves, P.H.L.; de Athaydes, J.; Junior, S.; Malhi, Y.; Meir, P. 2007. A method for extracting plant roots from soil which facilitates rapid sample processing without compromising measurement accuracy. *New Phytologist*, 174(3): 697-703.

Sierra, C.A.; Del Valle, J.I.; Orrego, S.A. 2003. Accounting for fine root mass sample losses in the washing process: a case study from a tropical montane forest of Colombia. *Journal of Tropical Ecology*, 19(5): 599-601.

Snowdon, P.; Raison, J.; Keith, H.; Ritson, P.; Grierson, P.; Adams, M.; Montagu, K.; Bi, H.-q.; Burrows, W.; Eamus, D. 2002. Protocol for Sampling Tree and Stand Biomass *National Carbon Accounting System: Technical Report No. 31* (pp. 76). Canberra, Australia: Australian Greenhouse Office.

Turcios, M.M. 2015. *Biomassa de raízes em ilhas de mata de savanas de Roraima: efeito da dimensão do fragmento, distribuição espacial e variáveis edáficas*. UFRR, Boa Vista, Roraima. 53 pp.

Turcios, M.M.; Jaramillo, M.M.; do Vale Jr., J.F.; Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. 2016. Soil charcoal as long-term pyrogenic carbon storage in Amazonian seasonal forests. *Global Change Biology*, 22(11): 190-197.