



**AMOSTRAGEM E MODELAGEM DA BIOMASSA DE
RAÍZES EM UM CERRADO *SENSU STRICTO* NO
DISTRITO FEDERAL**

GILENO BRITO DE AZEVEDO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AMOSTRAGEM E MODELAGEM DA BIOMASSA DE
RAÍZES EM UM CERRADO *SENSU STRICTO* NO
DISTRITO FEDERAL**

GILENO BRITO DE AZEVEDO

ORIENTADORA: ALBA VALÉRIA REZENDE

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM – 229/2014
BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO – 2014**

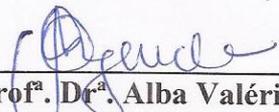
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

AMOSTRAGEM E MODELAGEM DA BIOMASSA DE RAÍZES EM UM
CERRADO *SENSU STRICTO* NO DISTRITO FEDERAL

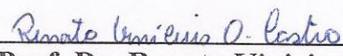
GILENO BRITO DE AZEVEDO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



Prof.^a Dr.^a Alba Valéria Rezende (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Orientador)



Prof. Dr. Renato Vinicius Oliveira Castro (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador interno)



Prof. Dr. Márcio Leles Romarco de Oliveira (Universidade Federal Vale de Jequitinhonha Mucuri - UFVJ);
(Examinador externo)

Prof. Dr. Sabina Cerruto Ribeiro (Departamento de Engenharia Florestal, UnB);
(Examinador suplente)

Brasília, 25 de fevereiro de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Acervo 1014840.

A994a Azevedo, Gileno Brito de.
Amostragem e modelagem da biomassa de raízes em um cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal / Gileno Brito de Azevedo. -- 2014.
xii, 75 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2014.

Inclui bibliografia.

Orientação: Alba Valéria Rezende.

1. Biomassa florestal. 2. Cerrados - Distrito Federal (Brasil). 3. Levantamentos florestais. I. Rezende, Alba Valéria. II. Título.

ODU 574.4(81:251)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AZEVEDO, G. B. 2014. **Amostragem e modelagem da biomassa de raízes em um cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-229/2014. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75 f.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gileno Brito de Azevedo

TÍTULO: Amostragem e modelagem da biomassa de raízes em um cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gileno Brito de Azevedo
gilenoba@hotmail.com

*“Mude suas opiniões,
mantenha seus princípios.
Troque suas folhas,
mantenha suas raízes.”*

(Victor Hugo)

Aos meus pais, Kito e Terezinha, ao meu
irmão, Gilson, à minha esposa, Glauce.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo, por guiar meus passos me fazendo capaz.

À minha querida esposa Glauce pela companhia e inesgotável ajuda em todas as fases desse trabalho, merecedora de um título de “*Co-mestrado*”. Obrigado pelo amor, carinho, amizade, compreensão ...

À minha família. Em especial, aos meus pais Kito e Terezinha, pelo amor e apoio ao longo de toda minha vida, ao meu irmão Gilson, pelo incentivo e amizade, e aos meus sogros Costinha e Júnia, pelo carinho e apoio.

À Professora Alba Rezende por me orientar durante essa jornada. Obrigado pela amizade, confiança, atenção, correções, ensinamentos, esclarecimentos e por todos os auxílios nos contratempos dessa jornada do mestrado.

À Diretoria da FAL, por liberar a área para realização do trabalho e por disponibilizar funcionários para ajudar na coleta das raízes.

Aos funcionários da FAL pela ajuda na coleta de dados. Em especial, para o Sr. Sebastião, que me acompanhou durante toda a coleta de dados e Sr. Augustinho, que me acompanhou durante todo o período de escavações.

Aos Professores Renato Castro, Alcides Gatto, Ailton Teixeira, Reginaldo Pereira e Anderson Marcos, pela amizade e colaboração com o trabalho.

Ao Ronaldo, motorista da UnB, por tantas idas e vindas à FAL.

Ao amigo Pedro Henrique Cerqueira, pela amizade, pelo grande empenho em me ajudar na coleta de dados e pelos “*papos florestais*”.

Ao amigo Lamartine Soares, pela amizade, pela grande ajuda na coleta de dados e por “*quebrar a cabeça*” com analisador de carbono.

Aos amigos Luduvico de Sousa, Cândida Mews, Milton Serpa, Josiane Bruzinga, Márcia e João Felipe, pela ajuda na coleta de dados e parceria nesse período de mestrado.

Aos amigos Henrique Mews, Fabiana Ribeiro, Derli, Ângela Bussinguer, Tangriene Nemer, Silvia Lima, Pierre Fárias, Patrícia Pires, Vitor Junqueira e Marina Monteiro, pela parceria nesse período de mestrado.

Aos ilustres amigos da Secretaria da Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Florestal da UnB, pelo apoio e o inesgotável auxílio acadêmico: Pedro e Chiquinho.

Aos amigos Sidnei Marilton (*Magal*), Alcides Neto (*Netão*), Helane França (*Lanítica*), Siléia Guimarães (*Si*) e Giovanni Vieira (*Geo*), pela grande amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por ter disponibilizado a bolsa de mestrado.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da UnB pela oportunidade e pelo grande apoio do coordenador do curso (Prof. Reginaldo) ao longo do curso.

Aos Professores Renato Castro e Márcio Leles, por participarem da banca e pelas contribuições.

A todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram comigo nessa jornada.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

AMOSTRAGEM E MODELAGEM DA BIOMASSA DE RAÍZES EM UM CERRADO *SENSU STRICTO* NO DISTRITO FEDERAL

Autor: Gileno Brito de Azevedo

Orientador: Prof. Dr^a. Alba Valéria Rezende

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília, fevereiro de 2014.

Estoques em biomassa são, em geral, muito variáveis entre e dentro de ecossistemas florestais. Para o bioma Cerrado, alguns estudos têm indicado que grande parte da biomassa vegetal viva encontra-se abaixo do nível do solo, ou seja, nas raízes. Contudo, estudos envolvendo a quantificação da biomassa subterrânea têm recebido pouca atenção em relação a quantificação da biomassa aérea, devido a grande dificuldade em amostrar raízes, pois as metodologias utilizadas para tal finalidade são, geralmente, difíceis de serem executadas, demandando muito tempo e muita mão de obra. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi realizar estudos relacionados à distribuição, amostragem e modelagem da biomassa de raízes, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal. A biomassa acima do solo foi determinada considerando quatro estratos da vegetação: arbóreo-arbustivo, regeneração natural, herbáceo e serapilheira. Para a coleta das raízes, foram escavadas cinco subparcelas de 2 x 2 m, sendo cada uma alocada no centro de parcelas de 20 x 50 m implantadas na área para a realização do inventário florestal visando caracterizar a vegetação lenhosa arbórea e arbustiva. As escavações nas subparcelas de 2 x 2 m, foram realizadas considerando seis intervalos de profundidade (0-10, 10-30, 30-50, 50-100, 100-150 e 150-200 cm). Foram testados diferentes métodos de amostragem, que consistiram na coleta de raízes utilizando trado e escavação de monolitos e trincheiras, com diferentes dimensões, totalizando 13 tratamentos. As raízes foram separadas do solo, lavadas, classificadas de acordo com o seu diâmetro em grossas (> 10 mm), médias (5-10 mm), pouco finas (2-5 mm) e finas (< 2 mm), e, em seguida, pesadas. Subamostras de raízes com ± 300 g foram secas em estufa a 70 ± 2 °C, visando obter a biomassa seca. Os dados obtidos nas subparcelas foram utilizados para avaliar distribuição da biomassa de raízes ao longo do perfil do solo e por classe de diâmetro. A partir dos dados da biomassa seca de raízes acumulada ao longo do perfil do solo (0-10, 0-30, 0-50, 0-100, 0-150 e 0-200 cm), em cada subparcela amostrada (total de 30 observações), foram ajustados modelos de regressão visando estimar a biomassa seca de raízes por unidade de área e por profundidade do solo. As variáveis independentes utilizadas no ajuste dos modelos foram: profundidade do solo (cm), densidade ($N \cdot ha^{-1}$), área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$), diâmetro médio quadrático (cm) e altura de Lorey (m). O estoque total de biomassa verificado na área foi de $73,90 \pm 12,26$ $Mg \cdot ha^{-1}$, sendo 37,38 % desse total verificado acima do nível do solo e 62,62 % abaixo do nível do solo, até a profundidade de 200 cm. As camadas superficiais do solo acumularam a maior parte da biomassa estocada pelas raízes, sendo, aproximadamente 43, 74 e 86 % desse total registrada até as profundidades de 10, 30 e 50 cm. As raízes grossas contribuíram com 67,1 % da biomassa abaixo do solo, enquanto que as raízes finas representaram apenas 9,3 %. A escavação de dois monolitos de 0,5 x 0,5 m, até a profundidade de 30 cm, distribuídos em cantos opostos de uma subparcela de 2 x 2 m, mostrou ser uma estratégia eficiente para captar a variabilidade espacial da biomassa de raízes, proporcionando estimativas com precisão semelhante às obtidas com métodos que utilizaram maior área de escavação. O ajuste de modelos alométricos é uma boa alternativa para estimar, de forma indireta, a biomassa de raízes.

Palavras-chave: Biomassa subterrânea, métodos de amostragem, inventário florestal.

ABSTRACT

SAMPLING AND MODELING OF ROOT BIOMASS IN A CERRADO *SENSU STRICTO* IN FEDERAL DISTRICT, BRAZIL

Author: Gileno Brito de Azevedo

Supervisor: Prof. Dr^a. Alba Valéria Rezende

Postgraduate Programme in Forest Sciences

Brasília/DF, February 2014.

Biomass stocks are, commonly, very variable among and within forest ecosystems. For Cerrado biome, some studies have indicated that a lot of living biomass is located belowground, ie, in the roots. However, studies involving the quantification of root biomass have received little attention as the quantification of biomass, due to the great difficulty in sampling roots, because the methods used for this purpose are generally difficult to perform, requiring much time and labor. Thus, the present study aimed to conduct studies related to the distribution, sampling and modeling of root biomass, in a cerrado *sensu stricto* in Água Limpa Farm in Federal District, Brazil. The aboveground biomass was determined considering four stratum of vegetation: tree and shrub, natural regeneration, herbaceous and litter. Five subplots of 2 x 2 m were excavated to collect roots, being allocated in the center of plots of 20 x 50 m installed in the area for conducting the forest inventory, which aimed to characterize the tree and shrub woody vegetation. The excavations were carried considering six depth intervals (0-10, 10-30, 30-50, 50-100, 100-150 and 150-200 cm). During sampling of the roots, were tested different sampling methods, which consisted in roots collect using auger and excavating of monoliths and trenches, with different dimensions, totaling 13 treatments. The roots were separated from the soil, washed, classified according to their diameter in thick (> 10 mm), medium (5-10 mm), little thin (2-5 mm) and thin (<2 mm), and weighed. Subsamples of ± 300 g were oven dried at 70 ± 2 ° C, allowing to obtain the values of dry biomass. The data obtained in subplots were used to evaluate the distribution of root biomass through the soil profile and by diameter class. From the data of dry biomass of roots accumulated throughout the soil profile (0-10, 0-30, 0-50, 0-100, 0-150 and 0-200 cm), in each subplot sampled (total 30 observations), were adjusted regression models aim to estimate the biomass of the roots per unit area and different soil depths. The independent variables used for model adjustment were: soil depth (cm), density ($N \cdot ha^{-1}$), basal area ($m^2 \cdot ha^{-1}$), quadratic mean diameter (cm) and Lorey's height (m). The total stock biomass found in the study area was 73.90 ± 12.26 $Mg \cdot ha^{-1}$, being 37.38% of the total observed above ground level and 62.62 % below ground level, until the depth of 200 cm. The topsoil accumulated the most of the biomass stored by roots, with, approximately 43, 74 e 86 % this total recorded until depths of 10, 30 e 50 cm. The coarse roots contributed with 67.1% of belowground biomass, while the fine roots represented only 9.3 %. The excavation of two monoliths of 0.5 x 0.5 m, until depth of 200 cm, distributed on opposite corners of a subplot of 2 x 2 m, is an efficient strategy to capture the spatial variability of root biomass, providing estimates with similar precision to those obtained with methods that used larger excavation area. The adjustment of allometric models is a good alternative to estimate, indirectly, the biomass of roots.

Key- words: Belowground biomass, sampling methods, forest inventory.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. HIPÓTESES	3
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
4.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	4
4.2 AS FLORESTAS E A CICLAGEM DO CARBONO	6
4.3 ESTOQUES DE BIOMASSA NOS ECOSSISTEMAS FLORESTAIS.....	7
4.4 ESTOQUES EM BIOMASSA NO CERRADO	10
4.5 AMOSTRAGEM DA BIOMASSA DE RAÍZES	12
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
5.2 COLETA DOS DADOS	17
5.2.1 Inventário Florestal	17
5.2.2 Determinação da biomassa acima do solo.....	18
5.2.3 Determinação da biomassa abaixo do solo	19
5.3 ANÁLISE DE DADOS	22
5.3.1 Caracterização da florística e estrutura da vegetação	22
5.3.2 Caracterização dos estoques em biomassa	22
5.3.3 Distribuição da biomassa de raízes ao longo do perfil do solo e por classe de diâmetro	22
5.3.4 Amostragem das raízes	23
5.3.5 Ajuste e avaliação dos modelos de regressão.....	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
6.1 FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO	27
6.2 ESTOQUES EM BIOMASSA SECA NA ÁREA	30

6.3 DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA DE RAÍZES AO LONGO DO PERFIL DO SOLO.....	34
6.4 DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA DE RAÍZES POR CLASSE DE DIÂMETRO	38
6.5 AMOSTRAGEM DA BIOMASSA DE RAÍZES	41
6.6 MODELOS DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA ABAIXO DO SOLO	51
7. CONCLUSÕES	56
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
APÊNDICES	71

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Modelos de regressão ajustados para estimativa da biomassa seca total de raízes ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa, DF.....26
- Tabela 2.** Parâmetros fitossociológicos das espécies lenhosas ($\text{Db} \geq 5$ cm) em uma área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.28
- Tabela 3.** Correlação de Pearson entre a biomassa de raízes (até 200 cm de profundidade) de diferentes classes de diâmetro com variáveis representativas da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* localizado na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.33
- Tabela 4.** Biomassa seca ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de raízes pertencentes a diferentes classes diamétricas distribuídas ao longo do perfil do solo, e determinadas a partir de diferentes métodos de amostragem, em uma área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.42
- Tabela 5.** Diferença relativa da biomassa de raízes determinada pela comparação entre os diferentes métodos de amostragem e o tratamento controle (subparcela de 2 x 2 m), em uma área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.47
- Tabela 6.** Precisão para o inventário florestal da biomassa abaixo do solo considerando os diferentes tratamentos utilizados para amostragem de raízes.49
- Tabela 7.** Parâmetros estimados, e suas respectivas medidas de precisão, para os modelos ajustados para estimativa da biomassa de raízes, em uma área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.52

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF, com a indicação da área de estudo, e das unidades amostrais onde a pesquisa foi realizada.16
- Figura 2.** Esquema representativo dos diferentes tratamentos envolvendo métodos de amostragem de raízes aplicados em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.20
- Figura 3.** Estoques em biomassa acima e abaixo do solo (A) e também por estrato acima do solo (B), registrados em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.30
- Figura 4.** Distribuição vertical da biomassa de raízes em função da classe diamétrica, encontrada em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.34
- Figura 5.** Contribuição da biomassa de raízes registrada em diferentes intervalos de profundidade do solo com o total de biomassa de raízes abaixo do solo, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.36
- Figura 6.** Biomassa de raízes de diferentes classes diamétricas em função da profundidade, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.38
- Figura 7.** Contribuição da biomassa de raízes de diferentes classes de diâmetro com total de biomassa abaixo do solo para diferentes intervalos de profundidade avaliados, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.40
- Figura 8.** Biomassa total de raízes acumulada em diferentes profundidades do solo, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. As barras representam as médias \pm desvios padrão.50
- Figura 9.** Distribuição residual (%) em função dos valores observados de biomassa seca de raízes gerada a partir dos diferentes modelos de regressão ajustados para estimar estoque de biomassa seca de raízes em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.53
- Figura 10.** Distribuição residual (%) em função da profundidade de coleta de raízes gerada a partir dos diferentes modelos de regressão ajustados para estimar estoque de biomassa seca de raízes em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.54
- Figura 11.** Comparação entre os valores de biomassa de raízes ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) observados e estimados, para cinco parcelas, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.55

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as atividades antrópicas têm provocado uma série de alterações na paisagem terrestre e, mais recentemente, na atmosfera. O aumento das atividades emissoras de gases de efeito estufa (GEEs) é considerado o responsável pelas mudanças climáticas globais e esse aumento começou a se intensificar a partir da Revolução Industrial (CARVALHO et al., 2010). Embora o efeito estufa seja um fenômeno natural, este tem sido intensificado por ações antrópicas, como o aumento da queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso da terra, que provocam, conseqüentemente, a elevação da concentração dos GEEs na atmosfera (HOUGHTON, 2003).

Nas últimas décadas, as discussões sobre as possíveis conseqüências do aumento da concentração dos GEEs na atmosfera aumentaram significativamente e este assunto tem sido tema central em diversas conferências e convenções propostas pela comunidade internacional, tais como: Rio de Janeiro em 1992 (criação do UNFCCC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima), Kyoto em 1997 (Protocolo de Kyoto), Conferência entre as Partes (COPs) que é realizada anualmente desde 1995, entre outras. Um dos principais objetivos dessas convenções é a busca de estratégias que visem a redução das emissões GEEs para a atmosfera, o que tem gerado uma crescente demanda pelo conhecimento sobre a capacidade dos diferentes ecossistemas captarem e fixarem carbono atmosférico em sua biomassa.

Nesse contexto, as florestas surgem como importantes prestadoras de serviços ambientais, uma vez que, através do processo de fotossíntese, as árvores capturam o CO₂ da atmosfera e fixa o carbono em sua biomassa (DIAS-FILHO, 2006), constituindo-se em uma importante forma de mitigação das mudanças climáticas. A capacidade das florestas em armazenar carbono varia de acordo suas características, tais como: condições climáticas, diferentes estágios de sucessão, composição de espécies, entre outras (WATZLAWICK et al., 2004) e, a quantificação da biomassa e do carbono acumulados é extremamente importante na avaliação do potencial dessa floresta em sequestrar o CO₂ atmosférico.

As estimativas dos estoques de biomassa são bastante variáveis entre os ecossistemas florestais. De uma forma geral, os ecossistemas com fitofisionomias florestais, como é o caso da Amazônia, apresentam maior quantidade de biomassa acumulada pela vegetação, enquanto nos ecossistemas savânicos, como é o caso do Cerrado brasileiro, esses estoques são menores. No entanto, alguns autores destacam que o Cerrado armazena grande parte de

sua biomassa viva abaixo do nível do solo, ou seja, em suas raízes (ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMAN, 1998; PAIVA et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011). Dessa forma, a biomassa subterrânea desses ecossistemas é de elevada importância para o ciclo global do carbono, uma vez que esta biomassa constitui-se em potencial reservatório de carbono, podendo contribuir para a redução da concentração de CO₂ atmosférico.

No entanto, a grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura aborda apenas a biomassa e o carbono estocados na parte aérea das plantas, sendo escassos os trabalhos envolvendo a quantificação desses estoques pelas raízes. A principal justificativa para que isso ocorra é a dificuldade em quantificar a biomassa contida nas raízes dos diferentes ecossistemas, uma vez que as metodologias utilizadas para tal finalidade são difíceis de serem executadas e demandam grande quantidade de tempo e mão de obra, tornando a atividade bastante onerosa. Segundo Grace et al. (2006), a subestimação da produtividade dos ecossistemas savânicos pode ser devido a dificuldade em se estimar os componentes de produtividade abaixo do solo.

Além disso, nota-se que as metodologias encontradas na literatura são bastante variáveis quanto à distribuição das amostras na área de estudo, tamanho da área escavada, profundidade de coleta das raízes e diâmetro das raízes coletadas, o que dificulta a comparação entre trabalhos, além de influenciar nos resultados obtidos. Para Qureshi et al. (2012), a quantificação do estoque de carbono em florestas é uma tarefa desafiadora, que, devido as metodologias utilizadas, envolve alto grau de incerteza e discrepâncias.

Apesar da grande variação entre as metodologias encontradas na literatura, poucos foram os trabalhos desenvolvidos em ecossistemas naturais com o objetivo de comparar as estimativas obtidas a partir de diferentes métodos (RAU et al., 2009; PING et al., 2010), permitindo assim, definir o mais adequado, considerando a precisão das estimativas obtidas e os custos relacionados a amostragem das raízes.

Uma das alternativas para obter a biomassa de raízes, sem a necessidade de recorrer aos métodos destrutivos, que na maioria das vezes apresentam maior custo, seria a utilização de equações alométricas, as quais, de forma rápida e otimizada, poderiam gerar estimativas precisas da biomassa de raízes a partir de variáveis dendrométricas facilmente obtidas durante o inventário florestal, reduzindo assim os custos relacionados à obtenção dessa estimativa. No entanto, também são raros na literatura trabalhos que ajustaram modelos alométricos para a obtenção da biomassa de raízes em ecossistemas naturais (CAIRNS et al., 1997; NIYAMA et al., 2010; RÍOS-CARRASCO e NÁVAR-CHÁIDEZ, 2010; KONÔPKA et al., 2011; KUYAH et al., 2012).

As estimativas de biomassa florestal são informações imprescindíveis para tomada de decisões em diversas áreas, dentre as quais se destacam as relacionadas ao manejo florestal e as mudanças climáticas. Dessa forma, a realização de estudos relacionados à quantificação, amostragem e modelagem da biomassa de raízes, principalmente para as formações vegetais do Cerrado, são de grande relevância científica, podendo fornecer informações para subsidiar a definição de políticas florestais, a gestão dos recursos florestais e a elaboração de planos de uso e conservação dos recursos florestais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar estudos relacionados à distribuição, amostragem e modelagem da biomassa de raízes, em um cerrado *sensu stricto* localizado na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar os estoques em biomassa acima e abaixo do nível do solo, bem como estabelecer a relação entre esses estoques;
- Avaliar a distribuição vertical da biomassa de raízes ao longo do perfil do solo;
- Avaliar a distribuição da biomassa de raízes por classe de diâmetro das raízes;
- Avaliar a eficiência de diferentes métodos para a amostragem da biomassa de raízes;
- Ajustar modelos alométricos para estimar a biomassa de raízes em diferentes profundidades do solo.

3. HIPÓTESES

- No cerrado *sensu stricto*, a maior parte da biomassa vegetal encontra-se estocada abaixo do nível do solo, especificamente nas raízes;
- Apesar do cerrado *sensu stricto* apresentar espécies lenhosas com sistemas radiculares bastante profundos, a biomassa das raízes está concentrada nas camadas mais superficiais do solo;
- As raízes grossas são responsáveis pela maior parte da biomassa encontrada nas raízes;

- Unidades amostrais com menores áreas escavadas são eficientes para quantificar a biomassa de raízes;
- Equações alométricas ajustadas para estimar a biomassa de raízes em função de variáveis dendrométricas, são eficientes.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas são processos naturais, considerando que a escala geológica faz parte da evolução natural, ocorrendo ao longo de centenas e milhares de anos e repetindo-se em intervalos de tempo irregulares (CHANG, 2004; DIAS, 2006). Todavia, a velocidade e a intensidade com que essas mudanças estão ocorrendo têm sido objeto de preocupação de cientistas e líderes mundiais, resultando em inúmeros estudos científicos em todo o mundo, principalmente a partir da década de 80 (CHANG, 2004).

O efeito estufa é um fenômeno natural, essencial para a manutenção da vida na Terra, mantendo as temperaturas médias do planeta em níveis adequados (CHANG, 2004; DIAS-FILHO, 2006). Entretanto, esse fenômeno tem sido acelerado pela ação antrópica, principalmente, devido ao aumento progressivo da concentração dos GEEs da atmosfera, em decorrência da crescente queima de combustíveis fósseis e das mudanças do uso da terra (desmatamento e queimadas) (HOUGHTON, 2003; MARTINS et al., 2003; CONRADO et al., 2006; DIAS-FILHO, 2006; OLIVEIRA e VECCHIA, 2009; CARVALHO et al., 2010). De acordo com os dados do IPCC (2007a), os GEEs influenciados pela ação humana tiveram aumento de 70% de suas emissões no período de 1970 a 2004.

Os principais gases causadores do efeito estufa são: vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorcarbonos (CFCs), polifluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e ozônio (O_3) (LIMA, 2000; CHANG, 2004; IPCC, 2007a; CARVALHO et al., 2010; TONIOLO e CARNEIRO, 2010). Dentre estes, o vapor d'água é o mais volumoso, porém com pouca interferência direta pelas atividades antrópicas (CHANG, 2004), enquanto que o CO_2 é o gás que mais contribui para o efeito estufa (CHANG, 2004; DIAS-FILHO, 2006; IPCC, 2007a; CARVALHO et al., 2010).

A concentração do CO₂ atmosférico aumentou globalmente em cerca de 120 ppm (39%) ao longo dos últimos 260 anos, partindo de uma quantidade de 275-285 ppm no período pré-industrial para 391 ppm em 2011, com um aumento anual em torno de 2 ppm na última década (OMM, 2012). As emissões totais passaram de 21 Gt em 1970 para 38 Gt em 2004 (IPCC, 2007b). De acordo Foley et al. (2005) e Cunha e Santarosa (2006), cerca de 35% das emissões antrópicas de CO₂ no mundo resultaram diretamente do uso da terra, sendo a queima de combustíveis fósseis responsável pela maioria das emissões. Já no Brasil, aproximadamente 75 % das emissões de CO₂ são derivadas de práticas agrícolas e do desmatamento (CUNHA e SANTAROSA, 2006).

Em 1992, o primeiro grande passo político foi dado para discutir as mudanças climáticas. Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), foi criada oficialmente a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), que entrou em vigor em 1994, e que reuniu vários países em um esforço conjunto para estabilizar a concentração atmosférica dos GEEs (BIATO, 2005; BRASIL, 2012), a partir da adoção de políticas e medidas visando limitar as emissões antrópicas dos GEEs ou aumentar a proteção e a expansão de sumidouros e reservatórios desses gases (BNDES e MCT, 1999).

A UNFCCC estabelece uma série de conceitos, princípios e obrigações, onde a Conferência das Partes (COP) se reúne anualmente para avaliar e definir novos caminhos, além de traçar acordos sobre questões importantes relacionadas aos objetivos da Convenção (BIATO, 2005; BRASIL, 2012). Até o momento, foram realizadas 19 COPs, sendo que a última (COP-19) foi realizada em novembro de 2013, em Varsóvia, na Polônia.

Em 1997, durante a COP-3, realizada na cidade de Kyoto no Japão, foi firmado um dos mais importantes acordos ambientais, o Protocolo de Kyoto, que estabeleceu para os países industrializados (países do Anexo I – 34 países) metas de redução na emissão dos GEEs (mínimo de 5,2 % em relação aos níveis de 1990) a serem cumpridas no período de 2008 a 2012 (primeiro período de compromisso), além de criar formas de desenvolvimento de maneira menos impactante aos países em pleno desenvolvimento (MCT, 2005). Durante a COP-18 foi firmado o segundo período de compromisso do Protocolo de Kyoto (2013-2020), o qual determina que não haverá distinção entre os países do Anexo I e não Anexo I, ou seja, os países em desenvolvimento (Brasil, China, Índia, etc) também terão metas obrigatórias de redução de emissão dos GEEs a serem cumpridas

4.2 AS FLORESTAS E A CICLAGEM DO CARBONO

O carbono (C) é um dos elementos fundamentais para a vida na Terra (DIAS-FILHO, 2006; TONIOLO e CARNEIRO, 2010) e está onipresente na natureza. Seus compostos são constituintes essenciais de toda a matéria viva, sendo fundamentais na respiração, fotossíntese e regulação do clima (MARTINS et al., 2003; BARRETO et al., 2009).

Segundo Dias-Filho (2006), o carbono está em constante movimento entre o ar, a terra e o mar, sendo este movimento denominado de ciclo do carbono. O ciclo do carbono está dividido em duas categorias: o ciclo geológico, que opera em uma escala de tempo de milhões de anos, e o biológico, que opera em escalas de tempo menores, variando de dias a milhares de anos. Dessa forma, a circulação do carbono no planeta varia de velocidades muito rápidas a infinitamente lentas (DIAS-FILHO, 2006).

Os principais compartimentos que armazenam carbono na Terra são os oceanos, a atmosfera, as formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e os ecossistemas terrestres (biota + solo) (ODUM, 1986; MACHADO, 2005; CARVALHO et al., 2008; BARRETO et al., 2009; CARVALHO et al., 2010). Estes compartimentos estão interconectados entre si, e sistematicamente, ocorre a troca de carbono entre eles (PACHECO e HELENE, 1990; LAL, 2004). Segundo Pacheco e Helene (1990), os três principais reservatórios de carbono capazes de realizar trocas entre si e que compõem o ciclo biogeoquímico do carbono são a atmosfera, os oceanos e a biosfera terrestre, sendo que a atmosfera intermedia a troca entre os outros dois. Ainda, segundo estes autores, o carbono estocado em combustíveis fósseis não é permutável naturalmente, e isto ocorre apenas com a interferência humana.

As fontes que liberam carbono para a atmosfera são bem conhecidas, podendo ser naturais, como aquelas decorrentes das atividades vulcânicas e trocas gasosas entre a biosfera e a atmosfera, ou antrópicas, decorrente da queima de combustíveis fósseis e alterações do uso do solo (PACHECO e HELENE, 1990; GOMES, 2010). Isso vem alterando a composição química e física da atmosfera, causando transtornos que podem se agravar no futuro, promovendo alterações no clima global (SANQUETA e BALBINOT, 2004).

A importância das florestas no equilíbrio do ciclo global do carbono é inquestionável (MARTINELLI e CAMARGO, 1996; CHEN et al., 2003; VIEIRA et al., 2008; BOMBELLI et al., 2009), uma vez que armazenam carbono na biomassa das árvores, no

sub-bosque, na serapilheira e no solo florestal (WATZLAWICK et al., 2004; DALLAGNOL et al., 2011), armazenando quantidades de carbono superiores às existentes na atmosfera (SILVA e MACHADO, 2000; FAO, 2010). Essa situação pode ser considerada como uma forma de mitigação das mudanças climáticas (DALLAGNOL et al., 2011).

A dinâmica do carbono em uma floresta é determinada pela assimilação de CO₂ através da fotossíntese, liberação de carbono através da respiração das plantas autotróficas, transferência de carbono do solo através da decomposição (folhas, raízes, etc), respiração dos seres heterotróficos (OHSE et al., 2007) e pela emissão de CO₂ oriunda das queimadas (AREVALO et al., 2002; FEARNSTIDE, 2002), sendo as florestas consideradas tanto fontes quanto sumidouros do CO₂ atmosférico (NOBRE e NOBRE, 2002; SOUZA et al., 2012a). Quando a respiração for maior do que a fotossíntese, será lançado CO₂ na atmosfera. Por outro lado, se a fotossíntese for maior que a respiração, o CO₂ será retirado da atmosfera e fixado na biomassa (MARTINELLI e CAMARGO, 1996).

4.3 ESTOQUES DE BIOMASSA NOS ECOSISTEMAS FLORESTAIS

A biomassa é definida como a massa orgânica produzida por unidade de área, podendo ser expressa pelo peso de matéria seca, de matéria úmida e carbono (ODUM, 1986). Sanquetta e Balbinot (2004) e Silveira (2008) complementaram essa definição, acrescentando que a biomassa refere-se à matéria de origem biológica, viva ou morta, vegetal ou animal. Estes autores ainda destacaram que o termo biomassa florestal refere-se a toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea, sendo a biomassa de origem vegetal também denominada de fitomassa.

As estimativas de biomassa florestal são informações imprescindíveis para tomada de decisões em diversas áreas, dentre as quais se destacam as de manejo florestal e mudanças climáticas. No primeiro caso, a biomassa está relacionada com os estoques de macro e micro nutrientes da vegetação (HIGUCHI et al., 1998; SILVEIRA et al., 2008) e quantificação da floresta para fins energéticos (SILVEIRA et al., 2008). No caso do clima, a biomassa é utilizada como base de informações para estudos relacionados ao sequestro de carbono pela vegetação de uma determinada área (SILVEIRA et al., 2008), permitindo obter informações como a quantidade de CO₂ emitida para a atmosfera com a queimada das florestas (HIGUCHI et al., 1998) e quantidade de carbono fixada pela vegetação com a preservação das mesmas.

As florestas representam um dos mais importantes recursos naturais para a humanidade, fornecendo uma série de bens e serviços ao homem e ao equilíbrio ambiental do planeta (SANQUETTA e BALBINOT, 2004). Nos últimos anos, em função do aumento do nível de CO₂ na atmosfera, com as consequentes alterações climáticas, o sequestro e a estocagem do carbono atmosférico pela fitomassa passaram a ser apontados como importantes serviços ambientais prestados pelas florestas (MELO e DURIGAN, 2006; RIBEIRO et al., 2009; DALLAGNOL et al., 2011).

A variável biomassa é um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas, e a mesma precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA e BALBINOT, 2004; SANQUETTA et al., 2006; DALLAGNOL et al., 2011). A quantificação da biomassa florestal pode ser realizada através de métodos diretos e indiretos, resultando, respectivamente, em determinações e estimativas (HIGUCHI et al., 1998; SANQUETTA e BALBINOT, 2004). De acordo com Bombelli et al. (2009), as principais formas de quantificar a biomassa florestal são: a) uso de método destrutivo *in loco*; b) estimativas por métodos não-destrutivos *in loco*; c) inferência a partir de sensoriamento remoto e; d) uso de modelos.

Nos ecossistemas terrestres, os reservatórios de carbono compreendem a biomassa viva acima do solo (parte aérea), a biomassa viva abaixo do solo (raízes), a necromassa (serapilheira e madeira morta) e o carbono orgânico do solo (KRUG, 2004), sendo que esses estoques variam de acordo com a tipologia dos ecossistemas, os quais estão distribuídos globalmente de acordo com os regimes climáticos de cada região (ARAGÃO e SHIMMABUKURO, 2003). O acúmulo de biomassa é diferente de local para local e de indivíduo para indivíduo, sendo essa variação, reflexo de fatores ambientais aos quais as plantas estão submetidas, além de fatores inerentes as próprias plantas (SOARES et al., 2006).

Segundo Watzlawick et al. (2004), diferentes tipos de florestas apresentam diferentes capacidades de absorção e fixação de carbono em sua biomassa, em função dos diferentes estágios de sucessão, idade, regime de manejo, sítio, composição de espécies, teor de carbono nos componentes de cada espécie, clima, período de rotação, entre outros (AREVALO et al., 2002; WATZLAWICK et al., 2004). De forma geral, as florestas secundárias e as plantações jovens fixam maior quantidade de carbono, uma vez que, as florestas primárias e as plantações maduras, já atingiram o estágio de equilíbrio quanto à

absorção de carbono, liberando, portanto, a mesma quantidade mediante a decomposição dos resíduos vegetais (AREVALO et al., 2002; SILVEIRA, 2008).

Dada a elevada importância da biomassa, principalmente em questões ligadas às mudanças climáticas, são crescentes os estudos acerca dos estoques em biomassa e carbono em diversos ecossistemas do mundo (BROWN et al., 1989; CAIRNS et al., 1997; SAN JOSÉ et al., 1998; CHEN et al., 2003, KENZO et al., 2010; PING et al., 2010; RYAN et al., 2010; DJOMO et al., 2011; SLIK et al., 2013). Para os biomas brasileiros podem ser citados estudos para a Amazônia (HIGUCHI et al., 1998; HIGUCHI et al., 2004; CASTILHO et al., 2006; LIMA et al., 2007a; NOGUEIRA et al., 2008; SOUZA et al., 2012b), para a Mata Atlântica (VIEIRA et al., 2008; PAULA et al., 2011; WATZLAWICK et al., 2012), para a Caatinga (AMORIM et al., 2005; SILVA e SAMPAIO, 2008; MEDONÇA et al., 2013; COSTA et al., 2014) e para o Cerrado (CASTRO e KAUFFMAN, 1998; REZENDE et al., 2006; SCOLFORO et al., 2008; PAIVA et al., 2011; RIBEIRO et al., 2011).

As estimativas das quantidades de biomassa e carbono estocados nos ecossistemas florestais apresentam grande variação. Para a Amazônia Brasileira, segundo dados apresentados por Nogueira et al. (2008), a biomassa de árvores com diâmetro ≥ 10 cm variou de 126,1 a 392,6 Mg.ha⁻¹, sendo uma média de 299,0 Mg.ha⁻¹ para as florestas densas e de 266,6 Mg.ha⁻¹ para as não densas. Já para a biomassa abaixo do solo (raízes), em florestas densas foram verificados valores variando de 103,5 a 115,8 Mg.ha⁻¹, representado, em média, 31 % da biomassa obtida acima do solo. Para uma área de floresta não densa, a biomassa verificada abaixo do solo foi de 32,0 Mg.ha⁻¹, que representou 10 % da biomassa obtida acima do solo.

Paula et al. (2011), ao avaliarem os estoques de carbono em paisagens antrópicas da Floresta Atlântica em Pernambuco, verificaram que as parcelas da floresta madura armazenaram três vezes mais carbono ($202,8 \pm 23,7$ Mg.ha⁻¹) do que aquelas nas bordas e fragmentos, enquanto que estes habitats afetados pelos efeitos de borda apresentam quantidades de carbono semelhantes. Já Watzlawick et al. (2012) registraram um estoque de carbono igual a 104,7 Mg.ha⁻¹ em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, no Paraná, e observaram que 85% desse total encontravam-se acima do solo.

Fearnside et al. (2009) compararam a biomassa de áreas de floresta e cerrado na região do “arco do desmatamento” em Mato Grosso. As estimativas mostraram que a biomassa aérea da floresta foi igual a 269,3 Mg.ha⁻¹ e do cerrado foi de 23,0 Mg.ha⁻¹, enquanto a biomassa subterrânea na floresta foi igual a 53,8 Mg.ha⁻¹ e no cerrado, 36,0

Mg.ha⁻¹. Ao avaliarem os estoques em biomassa para diferentes fisionomias do Cerrado nos estados de Mato Grosso e Roraima, Fearnside et al. (2009) verificaram que os estoques em biomassa variaram de 2,84 a 51,21 Mg.ha⁻¹ para a biomassa acima do solo e de 5,13 a 92,61 Mg.ha⁻¹ para a biomassa abaixo do solo. Em todas as fisionomias de Cerrado avaliadas por esses autores, os estoques em biomassa obtidos abaixo do solo foram superiores aos obtidos acima do solo.

4.4 ESTOQUES EM BIOMASSA NO CERRADO

As savanas tropicais cobrem cerca de 23 milhões de km² ou 20% da superfície terrestre e estão distribuídas pela África (65%), Austrália (60%), América do Sul (45%) e Índia e Sudeste Asiático (10%) (COLE, 1986). Ainda, segundo o autor, importantes fatores ambientais como o clima, o solo, a hidrologia, a geomorfologia, o fogo e a pastagem de animais são determinantes para a ocorrência desse Bioma.

No Brasil essa fisionomia é representada pelo bioma Cerrado, que ocupa aproximadamente 25% do território nacional, sendo o segundo maior bioma brasileiro, superado em área apenas pela Amazônia (MMA, 2007). Diante da vasta distribuição espacial, este bioma apresenta grande diversidade biológica e é considerado como um dos 34 *hotspots* mundiais, ou seja, uma das áreas prioritárias para a conservação da natureza (MITTERMEIER et al., 2005). Sua flora é composta por mais de 12.000 espécies (MENDONÇA et al., 2008), com cerca de 40 % de endemismo (KLINK e MACHADO, 2005).

O Cerrado forma um mosaico de fisionomias vegetais, apresentando formações campestres, savânicas e florestais (EITEN, 1972). A formação savânica mais comum no domínio do bioma Cerrado é o cerrado *sensu stricto*, ocupando cerca de 70% de sua extensão (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998). Segundo Eiten (1972), esta fisionomia caracteriza-se por apresentar um estrato herbáceo, com predominância de gramíneas, e outro lenhoso, que varia de 3 a 5 metros de altura, com cobertura arbórea de 10 a 60 %.

Entretanto, nos últimos 50 anos o Cerrado tem sido palco de acelerada e intensa ocupação econômica, impulsionada principalmente pelo agronegócio. Essa ocupação, aliada ao baixo conhecimento sobre a diversidade do bioma, tem resultado em intenso processo de perda de biodiversidade, que ameaça a sustentabilidade e limita o futuro socioeconômico deste bioma, especialmente em face dos cenários de mudanças climáticas

(DIAS, 2008). De acordo com MMA (2011), em 2010, o desmatamento no Cerrado chegou a 48,54 % de sua área, com aumento de 0,32 % da área desmatada do ano de 2009 para 2010. Portanto, a conservação da vegetação se torna extremamente importante, uma vez que, as florestas absorvem o CO₂ da atmosfera e armazenam carbono em sua biomassa, formando grandes reservatórios desse elemento (AGUIAR et al., 2006; SILVEIRA, 2008).

Nesse sentido, pesquisas recentes têm sido direcionadas para estudos visando obter estimativas dos estoques em biomassa e carbono acumulados na vegetação do bioma Cerrado (CASTRO, 1996; ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMAN, 1998; DELLITI et al., 2001; REZENDE, 2002; RODIN, 2004; REZENDE et al., 2006; PAIVA e FARIA, 2007; CASTRO-NEVES, 2007; RIBEIRO et al., 2011; ROCHA, 2011; PAIVA et al., 2011; MIRANDA, 2012; OLIVERAS et al., 2013).

Castro e Kauffman (1998), ao avaliarem a biomassa em diferentes fisionomias do cerrado próximas à Brasília-DF, encontraram valores de biomassa aérea variando de 5,5 Mg.ha⁻¹ (campo limpo) a 24,9 Mg.ha⁻¹ (cerrado denso). Já para a biomassa subterrânea, os valores encontrados por esses autores foram de 16,3 Mg.ha⁻¹, 30,1 Mg.ha⁻¹, 46,5 Mg.ha⁻¹ e 52,9 Mg.ha⁻¹, para áreas de campo limpo, campo sujo, cerrado aberto e cerrado denso, respectivamente. Esses autores verificaram que a relação biomassa de raízes/biomassa área viva da vegetação varia de 2,6 no cerrado aberto a 7,7 no campo sujo e os tecidos subterrâneos representaram entre 65% e 76% da biomassa total do ecossistema.

Ribeiro et al. (2011), estudando uma área de cerrado *sensu stricto* em Curvelo-MG, encontraram biomassa total de 111,47 Mg.ha⁻¹, distribuída entre árvores (56,5 %), arbustos (4,2 %), serapilheira (5,8 %) e raízes (33,6 %). Abdala et al. (1998) estimaram a biomassa aérea do componente arbóreo em 26 Mg.ha⁻¹ para uma área de cerrado típico próximo a Brasília-DF, enquanto para as raízes, o valor observado foi de 41,1 Mg.ha⁻¹. Por sua vez, Rezende et al. (2006) verificaram valores de 9,85 ± 1,08 Mg.ha⁻¹ e 4,93 ± 0,54 MgC.ha⁻¹ para os estoques em biomassa seca e carbono acima do solo, respectivamente, em uma área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa. Paiva et al. (2011) estimaram estoques de carbono de 8,60 Mg.ha⁻¹ para troncos e galhos, 3,62 Mg.ha⁻¹ para serapilheira e de 15,89 Mg.ha⁻¹ para as raízes.

Em savanas na Venezuela, protegidas do fogo por 25 anos, San José et al. (1998) verificaram valores de 13,5 Mg.ha⁻¹ e 4,8 Mg.ha⁻¹, para a biomassa acima e abaixo do solo, respectivamente. Já em savanas da Austrália, dominadas por *Eucalyptus* sp., Chen et al. (2003) verificaram 53 ± 20 Mg.ha⁻¹ de carbono estocados na biomassa vegetal, sendo desse total 61 % foi observado nos componentes acima do solo e 39 % no componente radicular.

Esses autores ainda observaram que a savana estudada era sumidouro de carbono durante a estação chuvosa, enquanto na estação seca, se constituía numa fonte fraca de carbono para a atmosfera.

A biomassa de raízes no Cerrado representa uma fração significativa do estoque de carbono quando comparado com outras savanas e florestas tropicais. Quando se analisa os dados de estoques e fluxos de carbono encontrados para o bioma Cerrado, os estoques aéreos do cerrado são bem inferiores aos demais sistemas florestais, no entanto, quando se estuda os estoques subterrâneos, eles podem ser semelhantes ou superiores aos sistemas mais produtivos (ADUAN et al., 2003). Em virtude do Cerrado apresentar biomassa abaixo do solo na maioria das vezes superior a biomassa acima do solo é comum ouvir dizer que o cerrado é considerado como uma “floresta invertida”.

4.5 AMOSTRAGEM DA BIOMASSA DE RAÍZES

A biomassa subterrânea de uma vegetação compreende todos os órgãos vivos localizados abaixo da linha do solo, tendo como função fixar a vegetação, captar e transferir recursos como água e nutrientes, além de estocar reservas (ADUAN et al., 2003), ou seja, corresponde a biomassa das raízes vivas (KRUG, 2004). No entanto, é sugerido pelo IPCC (2006) e FAO (2010), que na quantificação da biomassa e carbono abaixo do solo não sejam consideradas as raízes com diâmetro inferior a 2 mm, pois estas são difíceis de serem separadas empiricamente da matéria orgânica e da serapilheira, podendo ocasionar erros de estimativas.

Em grande parte dos ecossistemas terrestres, a biomassa das raízes, assim como sua distribuição no perfil do solo e produtividade, tem recebido menor atenção do que a biomassa aérea (CAIRNS, 1997; MOKANY et al., 2006). Cairns et al. (1997) e Brown (2002) abordam que as estimativas de biomassa aérea são abundantes na literatura, com a existência de metodologias bem estabelecidas, enquanto que para as estimativas de biomassa abaixo do solo, foram realizados poucos trabalhos e as metodologias são pouco padronizadas e incipientes. Para Lima et al. (2007b), as estimativas atuais de biomassa florestal contêm erros não dimensionados devido à escassez de dados para os sistemas radiculares.

Soares et al. (2011) cita que a amostragem do sistema radicular das plantas, além de propiciar o conhecimento da produção de biomassa, normalmente é realizada com o intuito de verificar a eficiência nutricional das plantas e observar o desenvolvimento de suas

raízes em condições climáticas desfavoráveis ao crescimento. Para a quantificação da biomassa de raízes, os métodos diretos (destrutivos) são os mais indicados (BÖHM, 1979), principalmente, quando estudos estão sendo iniciados em novos sítios, onde ainda não há informações a cerca da biomassa subterrânea (VOGT et al., 1998). Já os métodos indiretos, segundo Vogt et al. (1998), são indicados para locais onde dados de biomassa radicular já estão disponíveis.

Segundo Böhm (1979), os métodos mais indicados para estudos de raízes são a escavação, a amostragem por monolitos e a tradagem. Na escavação, as plantas têm o seu sistema radicular total ou parcialmente exposto por meio da remoção cuidadosa do solo, evitando causar danos às raízes (BÖHM, 1979). Ainda segundo o autor, esse método apresenta a desvantagem de demandar grande disponibilidade de tempo e mão de obra, tornando uma atividade bastante onerosa. Esse método permite tanto a quantificação das raízes quanto a avaliação da distribuição das raízes no solo (BÖHM, 1979), sendo obtidas informações ao nível de indivíduos (ABADALA et al., 1998).

A amostragem de raízes por monolitos consiste na retirada de blocos de solo contendo as raízes, os quais podem apresentar formato retangular, quadrado ou circular, sendo utilizado o que apresentar maior facilidade de uso ou ser o mais apropriado para cada condição (BÖHM, 1979). Ainda segundo esse autor, esse método apresenta a vantagem de permitir a realização de uma análise precisa da distribuição vertical e horizontal do sistema radicular, bem como a obtenção da massa de raízes por classe de tamanho, no entanto, apresenta a desvantagem de requerer grande quantidade de tempo para escavação dos monolitos e peneiramento do solo. Segundo Abdala et al. (1998), esse método não fornece dados para as árvores individualmente, e sim, para o ecossistema como um todo.

A tradagem consiste na retirada de amostras de solo contendo as raízes, por meio de trados, sem a necessidade de abertura de valas ou trincheiras. Segundo Böhm (1979), esse método é eficiente para a amostragem da biomassa de raízes finas, apresentando a vantagem de ser facilmente empregado, exigindo menor quantidade de tempo e mão de obra, além de causar pouco distúrbio na área amostrada. Contudo, não permite avaliar a morfologia do sistema radicular, além de ser limitado quando usado em solos pesados, compactados ou pedregosos. De acordo Levillain et al. (2011), esse método não é adequado para a estimativa de raízes grossas.

De acordo com Vogt et al. (1998), há vários fatores que precisam ser considerados ao definir o protocolo de amostragem de raízes em campo: 1) minimizar os distúrbios

causados pela amostragem na área de estudo; 2) tentar obter dados a partir de amostragens não destrutivas; 3) coordenar a amostragem de modo que as variações fenológicas da produção de raízes sejam captadas; 4) distribuir a amostragem ao longo do tempo para captar o efeito da sazonalidade; 5) utilizar critérios funcionais para o processamento dos dados em laboratório e; 6) amostrar a heterogeneidade espacial da área.

As metodologias utilizadas nas estimativas dos estoques de biomassa e carbono em raízes são muito onerosas, tediosas e difíceis de serem executadas, pois demandam muito tempo e mão de obra, além de não serem padronizadas (BÖHM, 1979; CAIRNS et al, 1997; STAPE et al., 2011). De acordo Böhm (1979), muitas vezes esses métodos apresentam deficiências e pode ser aconselhável utilizar mais de um método simultaneamente.

Para quantificação da biomassa subterrânea em quatro fisionomias do bioma Cerrado, Castro e Kauffman (1998) utilizaram a combinação dos métodos dos monolitos e do trado, descritos por Böhm (1979). Para a profundidade de até 100 cm, a amostragem da biomassa das raízes foi realizada a partir da demarcação de cinco monolitos de 50 x 50 cm, distantes 20 m um do outro, em cada uma das fisionomias estudadas. Já para as profundidades de 100 a 200 cm foi realizada com auxílio de um trado de 15 cm de diâmetro.

Abdala et al. (1998), trabalhando em um cerrado *sensu stricto* próximo de Brasília-DF, também utilizaram dois métodos de amostragem (monolitos e “tanques”) para quantificar a biomassa radicular. Os autores coletaram amostras em 16 pontos amostrais, utilizando monolitos com dimensões médias de 30 x 35 cm, com profundidades variando de 100 cm (em nove pontos localizados distantes as bordas de uma vala) até 620 cm (em sete pontos próximos a borda de uma vala). Para incluir um número relativamente grande de árvores de porte médio e alto, foram escavadas duas parcelas (“tanques”) de 5 x 20 m com a profundidade de 100 cm, de onde as raízes principais e raízes com diâmetro maiores que 10 mm foram coletadas.

Ribeiro et al. (2011), ao determinar a biomassa de raízes grossas (> 10 mm) em uma área remanescente de cerrado em Curvelo-MG, estabeleceram subparcelas de 2,0 x 2,5 m no centro de cada uma das 10 parcelas do inventário (500m²), as quais foram escavadas até 100 cm de profundidade. Já Paiva et al. (2011), ao determinar os estoques de carbono de raízes até a profundidade de 200 cm em uma área de cerrado *sensu stricto*, situado na Fazenda Água Limpa (FAL), Brasília-DF, amostraram aleatoriamente quatro monolitos de 50 x 50 cm em uma parcela para cada bloco (total de três blocos) até a profundidade de 30

cm. Para estimar a biomassa de raízes a partir de 30 cm e até 200 cm de profundidade os autores utilizaram proporções observadas por Castro (1996) para cada intervalo de profundidade.

Em trabalho desenvolvido em savanas abertas localizadas no norte da Austrália por Chen et al. (2003), a biomassa subterrânea foi estimada utilizando o método da trincheira, onde raízes de 16 árvores foram obtidas a partir de oito trincheiras (4-5 m de comprimento, até 200 cm de profundidade). Já Martínez e Fernández (2006), ao avaliarem a caracterização e distribuição vertical da biomassa de raízes em bosques semidecíduos em Cuba, utilizaram cinco monolitos de 10 x 10 cm por parcela (quatro nos cantos e um no centro das parcelas), que foram escavados até a profundidade de 15 cm. Para obter a fitomassa total da área, os autores consideraram que 25 % do total de raízes encontravam-se até a profundidade de 15 cm.

Delitti et al. (2001), para avaliar o efeito da sazonalidade sobre a biomassa de raízes finas (< 20 mm) em duas fisionomias de Cerrado no Estado de São Paulo (campo aberto e cerradão), até a profundidade de 36 cm, utilizaram o trado para a coleta das raízes, sendo coletados mensalmente 15 pontos aleatórios em cada uma das áreas. O trado também foi utilizado por Oliveras et al. (2013) para quantificação da biomassa de raízes de plantas herbáceas (até a profundidade de 30 cm) em parcelas submetidas a diferentes regimes de fogo, em uma área de cerrado na Reserva Ecológica do IBGE (próximo a Brasília-DF).

Barbosa et al. (2012), ao estudar duas áreas de savana no estado de Roraima, utilizaram métodos diretos e indiretos para a amostragem de raízes. No método direto, em cada uma das 27 parcelas, com auxílio de um coletor de solo (adaptado) de 10 cm de diâmetro, foram obtidos dados médios de raízes até a profundidade de 50 cm, conforme metodologia estabelecida pelo “*PROTOCOLO (Versão 2) - BIOMASSA DE RAÍZES EM ECOSSISTEMAS DE SAVANA*” publicado por Barbosa e Santos (2009). Já para amostragem da biomassa das raízes grossas (>10 mm) de árvores e arbustos os autores adotaram o método indireto, aplicando a equação alométrica apresentada por Abdala et al. (1998), que estima a biomassa seca das raízes até 100 cm de profundidade em função da área basal, para indivíduos com diâmetros a 30 cm do nível do solo (D_{30}) maior que 2,0 cm.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado na Reserva Ecológica e Experimental da Universidade de Brasília, Fazenda Água Limpa (FAL), situada a uma altitude média de 1.100 m, entre as coordenadas 15°56' e 15°59' S e 47°53' e 47°59' W, no Distrito Federal (Figura 1).

A FAL ocupa aproximadamente 4.000 ha cobertos, na sua maioria, por Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, pobre em nutrientes e com alto teor de alumínio (HARIDASAN, 1990). A área apresenta relevo plano e a vegetação predominante é o cerrado *sensu stricto*, que ocupa cerca de 1.480 ha, mas, existem também áreas cobertas por outras fitofisionomias do Cerrado, que variam desde campo limpo até florestas de galeria. O clima local, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, com temperatura mínima e máxima de 12 e 28,5 °C, respectivamente. A precipitação média anual é de 1.500 mm, com pronunciada estação seca nos meses de julho a setembro.

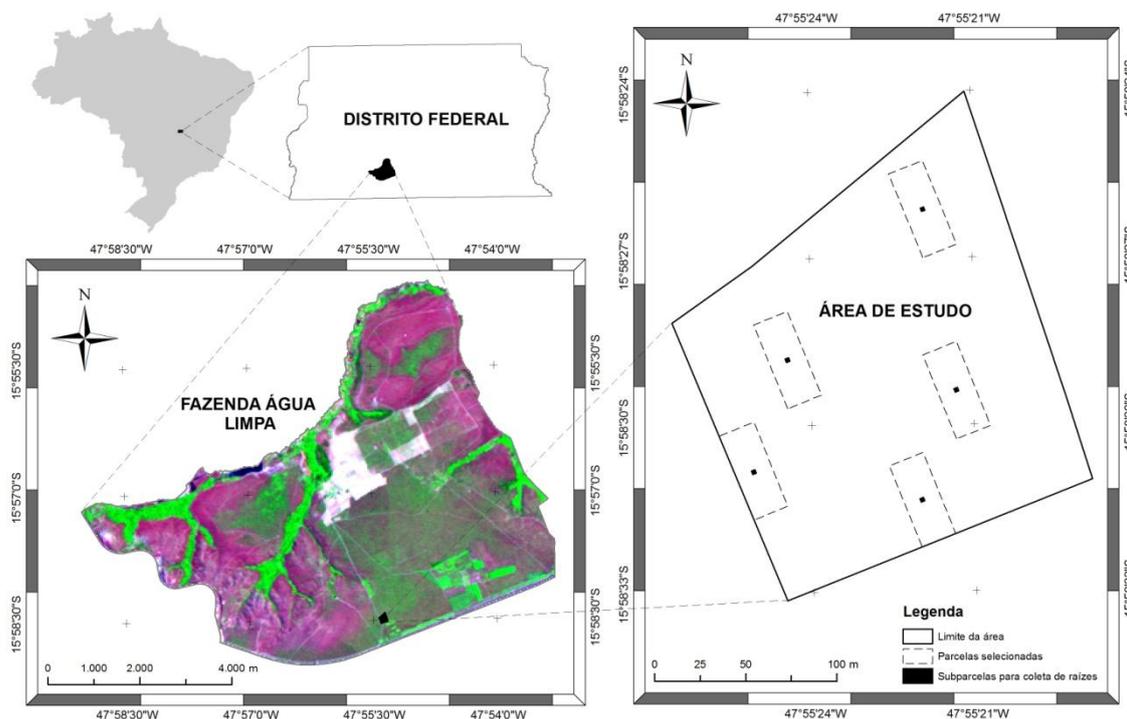


Figura 1. Localização da Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF, com a indicação da área de estudo, e das unidades amostrais onde a pesquisa foi realizada.

Para atender os objetivos desta pesquisa foi selecionada uma área de aproximadamente, 3,7 ha de cerrado *sensu stricto*, localizada em ambiente da FAL

destinado à implantação de projetos silviculturais, considerando que para o desenvolvimento desta pesquisa, houve a necessidade de remoção de parte da vegetação nativa do cerrado *sensu stricto* para a coleta da biomassa de raízes. A área selecionada apresentava bom estado de conservação, havendo apenas alguns sinais de um incêndio florestal que atingiu acidentalmente a área em 2011, dois anos antes da realização deste estudo.

5.2 COLETA DOS DADOS

5.2.1 Inventário Florestal

Para caracterizar a composição florística e a estrutura da vegetação lenhosa na área de estudo, bem como estimar a produção em biomassa seca acima do nível do solo, foi realizado um inventário florestal na área, considerando o sistema de amostragem inteiramente casualizado, com parcelas retangulares de 20 x 50 m (0,1 ha). O inventário florestal foi feito no início da estação seca (maio de 2013), sendo selecionadas aleatoriamente cinco parcelas de 0,1 ha (Figura 1), perfazendo uma intensidade de amostragem de 13,5 %. Todas as parcelas foram georreferenciadas.

Em cada parcela amostrada, todos os indivíduos lenhosos arbóreos e arbustivos, vivos e mortos em pé, com Db (diâmetro tomado a 30 cm do nível do solo) igual ou superior a 5 cm (FELFILI et al., 2005) foram identificados botanicamente e as variáveis Db e altura total, registradas. O diâmetro de cada fuste foi tomado com uma suta, em duas direções perpendiculares e a média calculada. A altura total (Ht) foi tomada com o auxílio de uma régua hipsométrica de 12 m.

Indivíduos com mais de um fuste com $Db \geq 5$ cm, bifurcando abaixo de 0,30 m do solo, foram medidos separadamente. No entanto, para efeito do cálculo da densidade (ind. ha^{-1}), as bifurcações não foram computadas. As bifurcações apenas foram computadas para a obtenção da área basal e biomassa do fuste.

A identificação botânica dos indivíduos ao nível de família, gênero e espécie foi feita em campo e, também, a partir de consultas à literatura e especialistas. O sistema de classificação botânica adotado foi o APG III (Angiosperm Phylogeny Group, 2009) e a nomenclatura botânica foi conferida e atualizada de acordo com a Lista de Espécies da Flora do Brasil (FORZZA et al., 2013).

5.2.2 Determinação da biomassa acima do solo

A produção em biomassa seca acima do solo foi quantificada considerando quatro estratos da vegetação do cerrado *sensu stricto*, ou seja, estrato arbóreo-arbustivo (indivíduos lenhosos com $Db \geq 5$ cm), estrato de regeneração natural (indivíduos lenhosos com $Db \leq 5$ cm), estrato herbáceo (gramíneas e ervas de caule pouco lignificado) e estrato de serapilheira (material vegetal morto sobre o solo). A biomassa desses três últimos estratos foi determinada durante o mês de junho.

Para o estrato arbóreo-arbustivo, a biomassa seca de cada indivíduo foi estimada a partir do uso de uma equação alométrica desenvolvida por Rezende et al. (2006), para o mesmo cerrado *sensu stricto* estudado, a qual estima a produção de biomassa seca por indivíduo lenhoso, em função das variáveis Db e altura total do fuste. A estimativa da produção em biomassa seca gerada por esta equação inclui os componentes fuste e galhos com diâmetro mínimo da ponta igual a 3 cm (REZENDE et al., 2006).

Para quantificar a produção em biomassa seca tanto do estrato regeneração natural quanto do estrato herbáceo, foram implantadas subparcelas de 2 x 2 m no centro de cada uma das cinco parcelas de 20 x 50 m amostradas no inventário florestal. Posteriormente, essas subparcelas foram utilizadas para a coleta das raízes. A regeneração natural e as plantas herbáceas presentes nessas subparcelas foram cortadas ao nível do solo, colhidas e, em seguida, armazenadas separadamente em sacos plásticos, para posterior pesagem.

A pesagem do material verde foi realizada imediatamente após a coleta, utilizando uma balança de precisão (0,01 g). Posteriormente, foi retirada uma subamostra de ± 300 g de regeneração natural e das plantas herbáceas colhidas em cada subparcela visando à secagem destes materiais para obtenção da massa seca. O processo de secagem foi realizado em estufa de ventilação forçada à uma temperatura de 70 ± 2 °C, até peso constante. Com base na determinação da massa seca das amostras de regeneração natural e das amostras de plantas herbáceas, foi estimada a biomassa seca total desses componentes para cada uma das subparcelas de 2 x 2 m amostradas. A biomassa seca de cada subparcela foi extrapolada para megagramas por hectare ($Mg \cdot ha^{-1}$).

A amostragem da serapilheira, visando a quantificação da sua produção, foi realizada em unidades amostrais de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), alocadas em cada um dos quatro cantos de cada subparcela de 2 x 2 m amostrada. Todo material vegetal morto depositado sobre o solo foi coletado, pesado em uma balança de precisão (0,01 g) e, em seguida, uma subamostra de ± 300 g de serapilheira colhida em cada subparcela foi retirada visando a

secagem em estufa de ventilação forçada à uma temperatura de $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até obter massa seca constante. A partir da determinação da massa seca das amostras de serapilheira, foi estimada a biomassa seca total de serapilheira para cada uma das unidades amostrais de $0,25 \text{ m}^2$, sendo, em seguida, extrapoladas para megagramas por hectare ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

5.2.3 Determinação da biomassa abaixo do solo

A coleta de raízes (biomassa abaixo do nível do solo) na área de cerrado *sensu stricto* selecionada foi realizada em subparcelas de $2 \times 2 \text{ m}$, alocadas no centro de cada parcela de $0,1 \text{ hectare}$ do inventário florestal (Figura 1). Contudo, antes da coleta de raízes em cada subparcela de $2 \times 2 \text{ m}$, foi realizado o corte e a remoção de todo o material vegetal acima do nível do solo (indivíduos lenhosos e herbáceos) apenas nas subparcelas de $2 \times 2 \text{ m}$. Além disso, foi removido também todo material vegetal morto depositado sobre a superfície do solo. O objetivo da retirada da biomassa acima do nível do solo foi facilitar a separação das raízes do restante de material vegetal presente nas subparcelas.

No processo de amostragem de raízes foram testados em cada uma das subparcelas de $2 \times 2 \text{ m}$, diferentes tratamentos (métodos de amostragem), que consistiram na coleta de raízes usando trado tipo concha com diâmetro de $4''$, onde foram testadas 4 e 8 perfurações por subparcela (T1 e T2, respectivamente) e, usando escavação de monólitos (T3 a T8) e trincheiras (T9 a T13) (Apêndices B e C). No total, foram testados 13 tratamentos, conforme Figura 2. As escavações dos monólitos e das trincheiras foram realizadas manualmente, utilizando ferramentas como enxadão, lebanca, cavador, cavadeira, pás, baldes e peneiras.

Inicialmente foi aplicado em cada subparcela de $2 \times 2 \text{ m}$, o tratamento que ocupava a menor área superficial (T1), seguido pelo tratamento com a segunda menor área (T2), e assim sucessivamente, até completar a escavação do tratamento controle (T13), ou seja, da subparcela de $2 \times 2 \text{ m}$ (4 m^2). Em situações onde os tratamentos se sobrepunham, os tratamentos com maior área superficial foram compostos pelos tratamentos de menor área superficial (Figura 2).

Além disso, para cada um dos 13 tratamentos testados, foi realizada a coleta de raízes considerando diferentes intervalos de profundidade do solo, ou seja, 0-10, 10-30, 30-50, 50-100, 100-150 e 150-200 cm. Assim, inicialmente, em cada subparcela amostrada foi aplicado todos os tratamentos, coletando-se as raízes na profundidade de 0-10 cm do solo. Em seguida, a coleta foi realizada na profundidade de 10-30 cm e, assim sucessivamente,

para cada um dos intervalos subsequentes, até atingir à profundidade de 200 cm. Todo o processo de coleta de raízes foi realizado durante a estação seca, nos meses de agosto e setembro.

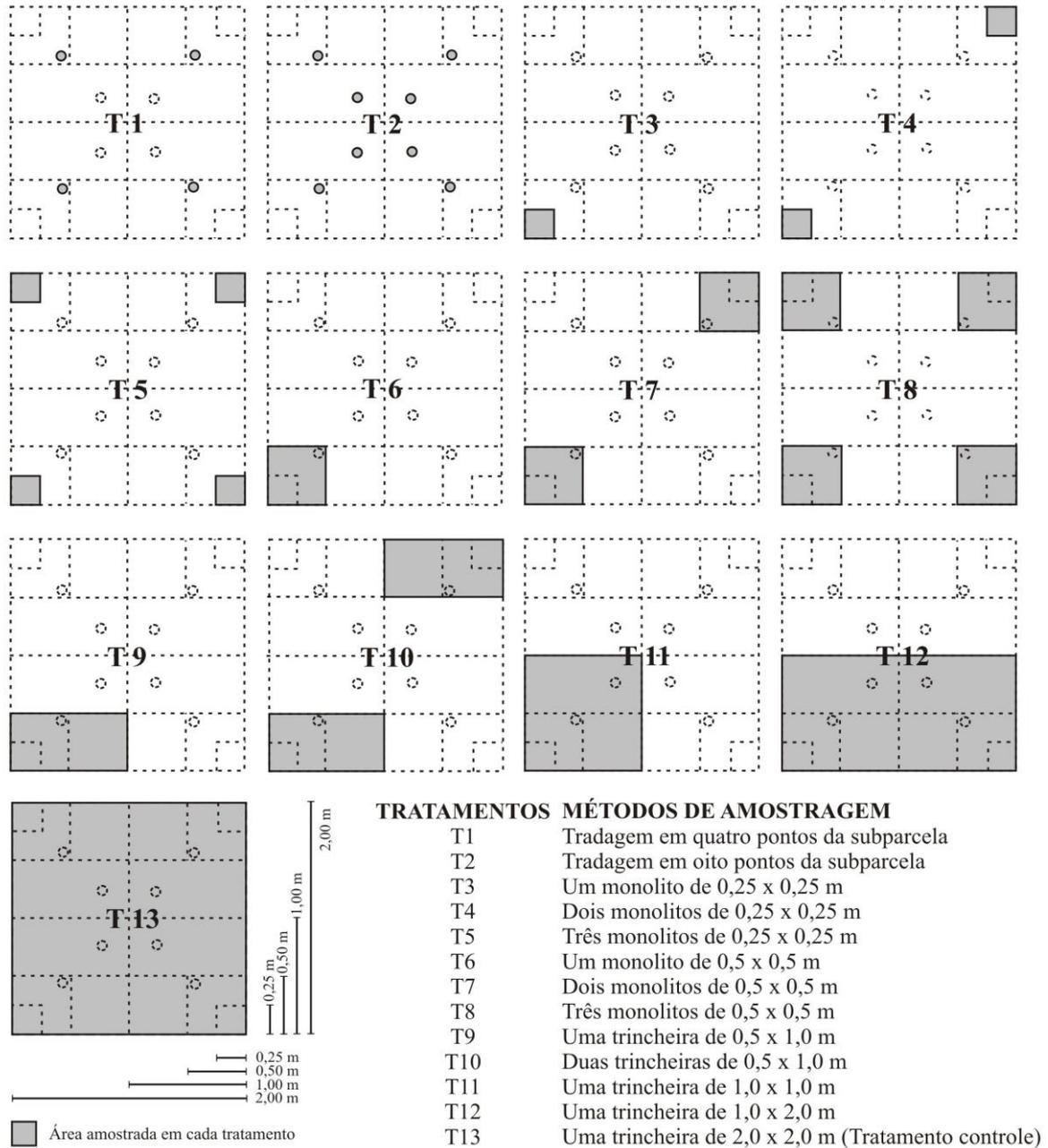


Figura 2. Esquema representativo dos diferentes tratamentos envolvendo métodos de amostragem de raízes aplicados em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.

Durante o processo de coleta de raízes por tratamento – método de amostragem e por intervalo de profundidade, foi realizada a separação das raízes do solo tanto por peneiramento quanto por catação manual (Apêndice D). Foram utilizadas peneiras com

malha de 2 mm, sendo que essas peneiras também retinham as raízes em quase sua totalidade, inclusive raízes com diâmetro inferior a 2 mm. Em seguida, todas as raízes coletadas foram encaminhadas para laboratório e lavadas, a fim de retirar o resto de solo aderido às mesmas.

Vale destacar que as escavações foram concentradas no período da manhã e /ou início da tarde, sendo as raízes lavadas no mesmo dia em que foram coletadas no campo. Após serem lavadas, as raízes foram colocadas em uma bancada, sobre folhas de jornais, para escorrimento do excesso de água.

Após a limpeza das raízes, foi realizada a separação das mesmas por classe de diâmetro, com auxílio de um paquímetro digital. Contudo, em virtude da dificuldade no processo de separação, não foi possível identificar a que espécie uma raiz pertencia e nem se estava viva ou morta.

Durante o processo de separação das raízes, estas foram classificadas em grossas (> 10 mm), médias (5-10 mm), pouco finas (2-5 mm) e finas (< 2 mm), conforme sugerido por Böhm (1979). Na maior classe de diâmetro também foram incluídas estruturas subterrâneas como xilopódios, bulbos, rizomas, tubérculos caulinares e caules subterrâneos (RODIN, 2004). Embora o IPCC (2006) e a FAO (2010) recomendam a quantificação da biomassa e carbono apenas das raízes com diâmetro superior a 2 mm, decidiu-se pela inclusão também das raízes finas, com diâmetro inferior a 2 mm, uma vez que estas podem se constituir como importante reservatório de carbono na biomassa de raízes.

Imediatamente após a separação das raízes por classe de diâmetro foi realizada a pesagem das mesmas em balança de precisão (0,01 g). Desta forma, para cada subparcela de 2 x 2 m amostrada, foi obtida a biomassa verde de raízes por classe de diâmetro (4 classes), por intervalo de profundidade (6 profundidades) e por método de amostragem (13 tratamentos). Para obtenção da biomassa seca, as raízes obtidas a partir dos 13 tratamentos foram homogeneizadas por profundidade, em cada classe de diâmetro, sendo retiradas amostras compostas de ± 300 g, totalizando 24 amostras por subparcela (6 profundidades x 4 classes de diâmetro), que foram colocadas em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$, até peso constante.

Com base no peso seco das amostras, foi estabelecida a relação entre a biomassa seca e biomassa verde das amostras. Desta forma, para determinar a biomassa seca das raízes amostradas em cada um dos tratamentos avaliados, foi multiplicado o valor dessa relação pela respectiva biomassa verde.

5.3 ANÁLISE DE DADOS

5.3.1 Caracterização da florística e estrutura da vegetação

A caracterização do cerrado *sensu stricto*, quanto à florística e a estrutura da vegetação lenhosa arbórea-arbustiva, foi obtida a partir dos dados do inventário florestal realizado na área.

Para a florística foi determinado o número de famílias, gêneros e espécies amostrado, e foi elaborada uma lista das espécies.

A estrutura da vegetação foi caracterizada a partir dos parâmetros fitossociológicos, ou seja, dos índices que expressam a estrutura horizontal da vegetação, tais como: densidade (absoluta e relativa), dominância (absoluta e relativa), frequência (absoluta e relativa) e índice de valor de importância (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974; KENT e COKER, 1992; FELFILI et al., 2011).

5.3.2 Caracterização dos estoques em biomassa

O estoque total de biomassa na área de cerrado *sensu stricto* considerou a biomassa acima do solo e a biomassa abaixo do solo.

A biomassa acima do solo incluiu a biomassa registrada em cada estrato analisado, ou seja: lenhoso arbóreo-arbustivo, regeneração natural, herbáceo e serapilheira. Já no caso da biomassa abaixo do solo foi considerada a biomassa total de raízes amostrada nas subparcelas de 2 x 2 m, e na profundidade de 2 m.

O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar a correlação entre a biomassa de raízes (diferentes classes de diâmetro) e a biomassa registrada nos estratos acima do solo (arbóreo-arbustivo, regeneração natural, herbáceo e serapilheira), bem como entre as variáveis que representam a comunidade lenhosa da área de estudo, tais como: densidade – N (ind.ha⁻¹), área basal – G (m².ha⁻¹), diâmetro médio quadrático – dg (cm) e altura de Lorey – H_L (m). O coeficiente de correlação de Pearson foi obtido utilizando o *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

5.3.3 Distribuição da biomassa de raízes ao longo do perfil do solo e por classe de diâmetro

Para avaliar a distribuição da biomassa de raízes ao longo do perfil do solo e por classe de diâmetro, foram utilizados os dados obtidos nas subparcelas 2 x 2 m.

Para a análise da distribuição da biomassa ao longo do perfil do solo foram considerados seis tratamentos, constituídos pelos diferentes intervalos de profundidade amostrados, isto é: 0-10, 10-30, 30-50, 50-100, 100-150 e 150-200 cm. Já para a análise por classe de diâmetro, foram considerados quatro tratamentos, constituídos pelas classes de diâmetro descritas anteriormente, ou seja: grossas (> 10 mm), médias (5-10 mm), pouco finas (2-5 mm) e finas (< 2 mm).

Para ambas as situações foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições (parcelas).

Os dados foram previamente avaliados quanto à normalidade e homocedasticidade, pelos testes de Lilliefors e Bartlett ($\alpha = 0,05$), respectivamente. Uma vez que não foram verificados os pressupostos da normalidade e homogeneidade de variâncias ($p < 0,05$), os dados foram analisados por meio de testes não paramétricos. A análise de variância de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) foi aplicada a fim de verificar diferenças entre os tratamentos analisados e o teste de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) para determinar quais tratamentos foram diferentes entre si (SOKAL e ROHLF, 1995; ZAR, 2010). As análises estatísticas foram feitas utilizando o *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

5.3.4 Amostragem das raízes

Os métodos de amostragem para quantificar biomassa de raízes foram analisados estatisticamente, ao nível de 5 % de significância, considerando um delineamento inteiramente casualizado, com 13 tratamentos (métodos de amostragem) e cinco repetições (subparcelas de 2 x 2 m). É importante destacar que em cada tratamento empregado foi computada a biomassa acumulada de raízes para as diferentes classes de diâmetro e nas diferentes profundidades analisadas (10, 30, 50, 100, 150 e 200 cm).

Os dados de biomassa foram previamente avaliados quanto à normalidade e homocedasticidade, utilizando os testes de Lilliefors e Bartlett ($\alpha = 0,05$), respectivamente, utilizando o *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004). Quando os pressupostos da normalidade e homocedasticidade ($p > 0,05$) foram atendidos, os dados de biomassa de raízes foram analisados estatisticamente, a partir da aplicação da análise de variância de um fator (*one-way* ANOVA) ($\alpha = 0,05$) (SOKAL e ROHLF, 1995; ZAR, 2010) e, se detectada a existência de diferenças significativas entre os tratamentos, as médias desses tratamentos foram comparadas utilizando a análise aglomerativa de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$) (SCOTT e KNOTT, 1974), que é um teste robusto, indicado quando o número de

tratamentos é alto (> 8) (SCOTT e KNOTT, 1974), sendo as análises feitas utilizando o pacote ExpDes do *software* R, versão 2.13.1 (FERREIRA et al., 2013).

Contudo, quando os dados não atendiam os pressupostos da normalidade e homogeneidade de variâncias ($p < 0,05$), estes foram analisados por meio de testes não paramétricos, sendo a análise de variância de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$) aplicada para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos e o teste de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$) utilizado para determinar quais tratamentos eram diferentes entre si (SOKAL e ROHLF, 1995; ZAR, 2010), sendo as análises feitas utilizando o *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

Além disso, para avaliar a acuracidade dos diferentes métodos de amostragem de biomassa acumulada de raízes (total e por classe de diâmetro), considerando as seis profundidades avaliadas, foi calculada a diferença relativa da média obtida pelo tratamento controle (subparcela de 2 x 2 m) com a obtida pelo demais métodos (LEVILLAIN et al., 2011). A fórmula utilizada foi:

$$DR = \frac{(Y_i - Y_R)}{Y_R} \cdot 100$$

sendo:

Y_i = Valor médio de biomassa seca de raízes observada nas parcelas submetidas ao tratamento i ;

Y_R = Valor médio de biomassa seca de raízes, observada nas parcelas do tratamento controle ou testemunha (parcela de 2 x 2 m).

De forma complementar, para selecionar o melhor método de amostragem de biomassa de raízes na área de estudo, foi avaliada a precisão (erro de amostragem em %) dos diferentes métodos utilizados para a amostragem da biomassa total de raízes, considerando a precisão requerida de 20 % ($\alpha = 0,05$) e a amostragem aleatória simples, cujas fórmulas encontram-se disponíveis em Pellico Netto e Brena (1997) e Soares et al. (2011). Quando a precisão do método de amostragem não foi atingida, determinou-se a nova intensidade de amostragem necessária (PELLICO NETTO e BRENA, 1997 e SOARES et al., 2011). Decidiu-se por adotar a precisão requerida de 20 % ($\alpha = 0,05$), para a estimativa da produção média total (de raízes profundidade de 2 m), em função da possível alta variabilidade dessa variável ao longo da área de estudo. Vale ressaltar que não foram encontrados na literatura, estudos que indiquem a precisão requerida para estudos com raízes. De acordo o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), a

expectativa do erro ao se estimar os parâmetros quantitativos em inventários de formações florestais e campestres, gira em torno de 20% e, eventualmente, até um pouco mais.

Com o objetivo de indicar qual a melhor profundidade a ser escavada durante a amostragem da biomassa de raízes, foi analisado a partir de que profundidade a biomassa total acumulada pelas raízes não diferiu estatisticamente das profundidades subsequentes. Para esta análise, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (profundidades) e cinco repetições (parcelas). Uma vez verificada a normalidade e homocedasticidade dos dados ($p < 0,05$), foram utilizados testes paramétricos, sendo empregada a análise de variância de um fator (*one-way ANOVA*) ($\alpha = 0,05$) (SOKAL e ROHLF, 1995; ZAR, 2010) para verificar se houve diferença da biomassa acumulada até diferentes profundidades, e o teste Scott-Knott ($\alpha = 0,05$) (SCOTT e KNOTT, 1974), para verificar quais profundidades foram iguais entre si. As análises foram estatísticas foram feitas utilizando o pacote ExpDes do *software R*, versão 2.13.1 (FERREIRA et al., 2013).

5.3.5 Ajuste e avaliação dos modelos de regressão

A partir dos dados de biomassa seca de raízes, acumulada ao longo das diferentes profundidades do solo (0-10, 0-30, 0-50, 0-100, 0-150 e 0-200 cm), em cada uma das cinco subparcelas amostradas (total de 30 observações), foram ajustados modelos de regressão visando a estimativa da biomassa seca de raízes por unidade de área e para diferentes profundidades do solo. Dentre as 30 observações existentes, 20 foram selecionadas de forma aleatória para o ajuste dos modelos e 10 foram utilizadas para a avaliação da equação selecionada.

Como variáveis independentes utilizadas no ajuste dos modelos foi selecionada a profundidade do solo, já que o objetivo principal do ajuste era de obter a biomassa seca de raízes em diferentes profundidades do solo. Além da variável profundidade do solo, foram testadas algumas variáveis independentes ou explicativas representativas da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto*, como: densidade – N (ind.ha⁻¹), área basal – G (m².ha⁻¹), diâmetro médio quadrático – dg (cm) e altura de Lorey – H_L (m). A escolha de tais variáveis foi devido ao fato de que todas elas podem ser facilmente obtidas a partir da análise dos dados do inventário florestal. A densidade e a área basal são variáveis que expressam a estrutura horizontal da vegetação (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974; KENT e COKER, 1992) e o diâmetro médio quadrático e a altura de Lorey

representam as árvores médias do povoamento e apresentam relação com variáveis que expressam a produção florestal (CURTIS e MARSHALL, 2000; PRETZSCH, 2009).

Foram ajustados modelos lineares e não lineares (Tabela 1), onde variáveis explicativas foram utilizadas tanto em sua escala original, como transformadas. O *software* utilizado para ajuste dos modelos foi o Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004). Para ajuste dos modelos não lineares foi utilizado o algoritmo de Levenberg-Marquardt, considerando 1.000 iterações.

Os modelos de regressão ajustados foram primeiramente avaliados quanto à significância da regressão e a significância de seus parâmetros. Os critérios utilizados para seleção das equações ajustadas foram: coeficiente de correlação (R), para comparar os modelos não lineares; coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), para comparar os modelos lineares; erro padrão residual em porcentagem (EPR%); e distribuição gráfica dos resíduos (DRAPPER e SMITH, 1981).

Tabela 1. Modelos de regressão ajustados para estimativa da biomassa seca total de raízes ($Mg \cdot ha^{-1}$) em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa, DF.

Nº	MODELO
1	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{P} + \beta_2 \cdot N + \beta_3 \cdot G + \beta_4 \cdot dg + \beta_5 \cdot H_L + \varepsilon$
2	$Y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{P} + \beta_2 \cdot N + \beta_3 \cdot G + \beta_4 \cdot dg + \beta_5 \cdot H_L)} \cdot \varepsilon$
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{P} + \beta_2 \cdot N + \beta_3 \cdot G + \beta_4 \cdot dg + \varepsilon$
4	$Y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{P} + \beta_2 \cdot N + \beta_3 \cdot G + \beta_4 \cdot dg)} \cdot \varepsilon$
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot P + \varepsilon$
6	$Y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{P})} \cdot \varepsilon$

Onde: Y = Biomassa seca total de raízes ($Mg \cdot ha^{-1}$); P = Profundidade do solo em que se deseja estimar a biomassa total de raízes; N = Densidade ($ind \cdot ha^{-1}$); G = Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$), dg = diâmetro médio quadrático (cm); H_L = Altura de Lorey (m); β_i = Coeficientes da regressão; Ln = Logaritmo neperiano; ε = Erro aleatório.

Para avaliar as estimativas do modelo selecionado foi utilizado o Teste do Qui-Quadrado (χ^2) ($\alpha = 0,05$). A fórmula utilizada foi:

$$\chi^2_{CALCULADO} = \sum \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\hat{Y}_i}$$

sendo:

Y_i = Valor real da observação i ;

\hat{Y}_i = valor estimado da observação i .

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 FLORÍSTICA E ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO

Na área de cerrado *sensu stricto* amostrada foram registrados 698 indivíduos vivos, com $Db \geq 5$ cm, distribuídos em 46 espécies, 35 gêneros e 24 famílias botânicas (Tabela 2). O número de espécies botânicas foi inferior ao encontrado por Rezende et al. (2005), na mesma área estudada, onde foram registradas 57 espécies lenhosas. Contudo, deve ser destacado que esta área foi atingida por um incêndio florestal em 2011, cerca de dois anos antes do inventário florestal, objeto deste estudo. Tal incêndio pode ter causado a morte de indivíduos pertencentes a algumas espécies consideradas raras na área, por apresentarem baixas densidades, provocando assim uma redução temporária na riqueza de espécies.

O número de espécies registrado neste estudo também foi inferior aos valores encontrados por Felfili et al. (2004), que estudaram 15 áreas de cerrado *sensu stricto*, em diferentes localidades do Brasil Central, e verificaram valores de riqueza variando entre 55 e 97 espécies.

A baixa riqueza florística encontrada neste estudo pode também estar relacionada ao tamanho da área amostrada, uma vez que no presente trabalho foi amostrada apenas 0,5 ha e nos demais estudos citados, a área amostrada mínima foi de 1 ha.

Quanto a estrutura da vegetação lenhosa, foi observado que o cerrado *sensu stricto* estudado apresentou uma densidade de 1.396 ± 213 ind.ha⁻¹ (média \pm desvio padrão) e uma área basal de $8,65 \pm 1,34$ m².ha⁻¹ (Tabela 2). Quando foram incluídos os indivíduos mortos em pé, esses valores passaram para 1.718 ± 208 ind.ha⁻¹ e $10,17 \pm 1,11$ m².ha⁻¹, respectivamente. Estes resultados corroboram com os obtidos por Felfili et al. (2004), que ao estudarem as 15 áreas de cerrado *sensu stricto*, verificaram que a densidade variou de 628 a 1.396 ind.ha⁻¹ e área basal de 5,79 a 11,30 m².ha⁻¹.

O diâmetro dos indivíduos amostrados variou de 5,0 a 32,5 cm, com média de 8,1 cm. A altura total dos indivíduos lenhos variou de 0,7 a 8,7 m, com média de 3,2 m. Estes resultados estão de acordo com a estrutura de tamanho observadas em outras áreas de cerrado *sensu stricto*, que utilizaram metodologia similar à empregada no presente estudo (FELFILI et al., 2000; ASSUNÇÃO e FELFILI, 2004; REZENDE et al., 2006; FELFILI e FAGG, 2007). Estes resultados, juntamente com os valores de densidade e área basal obtidos, demonstram que a área amostrada no presente trabalho é bastante representativa do cerrado *sensu stricto* do Brasil Central quanto a sua estrutura.

Tabela 2. Parâmetros fitossociológicos das espécies lenhosas ($Db \geq 5$ cm) em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

ESPÉCIE	FAMÍLIA	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI
<i>Miconia pohliana</i> Cogn.	Melastomataceae	260	18,62	100	3,47	1,46	16,86	38,96
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	Fabaceae	164	11,75	100	3,47	0,83	9,6	24,82
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	Vochysiaceae	56	4,01	100	3,47	0,87	10	17,48
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Calophyllaceae	120	8,6	100	3,47	0,35	4,03	16,10
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	78	5,59	100	3,47	0,53	6,1	15,16
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	Styracaceae	70	5,01	100	3,47	0,56	6,47	14,95
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	Ochnaceae	82	5,87	100	3,47	0,49	5,61	14,95
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Caryocaraceae	50	3,58	100	3,47	0,4	4,63	11,68
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	34	2,44	100	3,47	0,36	4,16	10,07
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	44	3,15	100	3,47	0,27	3,12	9,74
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Primulaceae	46	3,3	100	3,47	0,13	1,45	8,22
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	36	2,58	100	3,47	0,13	1,47	7,52
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	Fabaceae	28	2,01	80	2,78	0,17	1,91	6,7
<i>Symplocos rhamnifolia</i> A.DC.	Symplocaceae	12	0,86	80	2,78	0,26	3	6,64
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Asteraceae	26	1,86	100	3,47	0,09	1,06	6,4
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltld.) Frodin	Araliaceae	16	1,15	100	3,47	0,13	1,46	6,08
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	Malpighiaceae	24	1,72	100	3,47	0,07	0,77	5,96
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Rubiaceae	20	1,43	80	2,78	0,1	1,21	5,42
<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	Fabaceae	14	1,00	40	1,39	0,24	2,75	5,14
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	Bignoniaceae	14	1,00	100	3,47	0,05	0,6	5,07
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Apocynaceae	20	1,43	80	2,78	0,05	0,59	4,8
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	Fabaceae	14	1,00	60	2,08	0,14	1,65	4,74
<i>Eremanthus glomeratus</i> Less.	Asteraceae	12	0,86	80	2,78	0,05	0,54	4,18
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	Myrtaceae	8	0,57	60	2,08	0,11	1,25	3,9
<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	Ebenaceae	22	1,58	40	1,39	0,08	0,89	3,86
<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex Schmidt) Lundell	Nyctaginaceae	18	1,29	40	1,39	0,09	1,01	3,69
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	Fabaceae	14	1,00	40	1,39	0,08	0,88	3,27
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	Erythroxylaceae	10	0,72	60	2,08	0,02	0,27	3,07
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Malpighiaceae	8	0,57	60	2,08	0,02	0,28	2,93
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	Sapotaceae	8	0,57	40	1,39	0,06	0,65	2,61

Continua.

Tabela 2. Continuação.

ESPÉCIE	FAMÍLIA	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	IVI
<i>Tachigali aurea</i> Tul.	Fabaceae	4	0,29	20	0,69	0,13	1,52	2,50
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Combretaceae	8	0,57	40	1,39	0,04	0,47	2,44
<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Fabaceae	6	0,43	40	1,39	0,03	0,36	2,18
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	Malvaceae	6	0,43	20	0,69	0,08	0,92	2,05
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Connaraceae	6	0,43	40	1,39	0,02	0,2	2,02
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Apocynaceae	4	0,29	40	1,39	0,03	0,3	1,98
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	Melastomataceae	4	0,29	40	1,39	0,02	0,22	1,90
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Nyctaginaceae	4	0,29	40	1,39	0,01	0,11	1,79
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Fabaceae	4	0,29	20	0,69	0,05	0,59	1,57
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	Erythroxylaceae	6	0,43	20	0,69	0,02	0,21	1,33
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	2	0,14	20	0,69	0,03	0,3	1,13
<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A.Juss.	Malpighiaceae	4	0,29	20	0,69	0,01	0,14	1,12
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Fabaceae	4	0,29	20	0,69	0,01	0,1	1,08
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	Fabaceae	2	0,14	20	0,69	0,01	0,12	0,96
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	Calophyllaceae	2	0,14	20	0,69	0,01	0,11	0,94
<i>Eremanthus incanus</i> (Less.) Less.	Asteraceae	2	0,14	20	0,69	0	0,05	0,89
Total	-	1396	100	2880	100	8,65	100	300

DA = Densidade absoluta (N ha⁻¹); DR = Densidade relativa (%); FA = Frequência absoluta (%); FR = Frequência relativa (%); DoA = Dominância Absoluta (m².ha⁻¹); DoR = Dominância Relativa (%) e IVI = Índice de Valor de Importância (%). Espécies em ordem decrescente de IVI.

O maior número de espécies foi verificado na família Fabaceae (11), seguida por Vochysiaceae (4), Asteraceae (3) e Malpighiaceae (3). Essas quatro famílias representaram 38,7 % dos indivíduos amostrados, 45,9 % da área basal e 42,3 % do IVI total da área. Por outro lado, 15 famílias foram representadas apenas por uma espécie cada. Assunção e Felfili (2004) também verificaram maior número de espécies nas famílias Fabaceae (9), Vochysiaceae (4) e Malpighiaceae (4) em um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil,

As espécies com maior número de indivíduos amostrados foram *Miconia pohliana* (18,6 %), *Dalbergia miscolobium* (11,7 %) e *Kielmeyera coriacea* (8,6 %). Se considerado também os indivíduos mortos em pé, estes representaram 23,1 % do número total de indivíduos amostrados e 14,9 % da área basal, além de ter apresentado o maior valor de IVI (33,68). O grande número de indivíduos mortos provavelmente está associado ao incêndio que ocorreu dois anos antes das medições, uma vez que, para Assunção e Felfili

(2004), a elevada participação de indivíduos mortos na comunidade é um indicativo de perturbações na área, reforçando a necessidade de maior proteção contra os incêndios.

As espécies que se destacaram na área por apresentar maior IVI (Tabela 2) foram: *Miconia pohliana*, *Dalbergia miscolobium*, *Vochysia thyrsoidea*, *Kielmeyera coriacea*, *Qualea parviflora*, *Styrax ferrugineus*, *Ouratea hexasperma*, *Caryocar brasiliense*, *Qualea grandiflora* e *Qualea multiflora*. Essas 10 espécies representaram 68,6 % da densidade total, 70,6 % da dominância relativa e 58,0 % do IVI total. Vinte e duas espécies apresentaram IVI menores que 10 % do maior valor de IVI encontrado (35,49), portanto, de acordo Andrade et al. (2002), a comunidade estudada caracteriza-se pela existência de poucas espécies dominantes.

6.2 ESTOQUES EM BIOMASSA SECA NA ÁREA

O estoque total de biomassa seca na área de cerrado *sensu stricto* estudada (acima e abaixo do nível do solo) foi de $73,90 \pm 12,26 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (média \pm desvio padrão), sendo que desse total, $27,63 \pm 2,08 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (37,38 %) foi registrado acima do nível do solo (estrato lenhoso, regeneração natural, herbáceas e serapilheira), e $46,27 \pm 13,21 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (62,62 %) foi registrado abaixo do nível do solo (nas raízes), até a profundidade de 200 cm (Figura 3A).

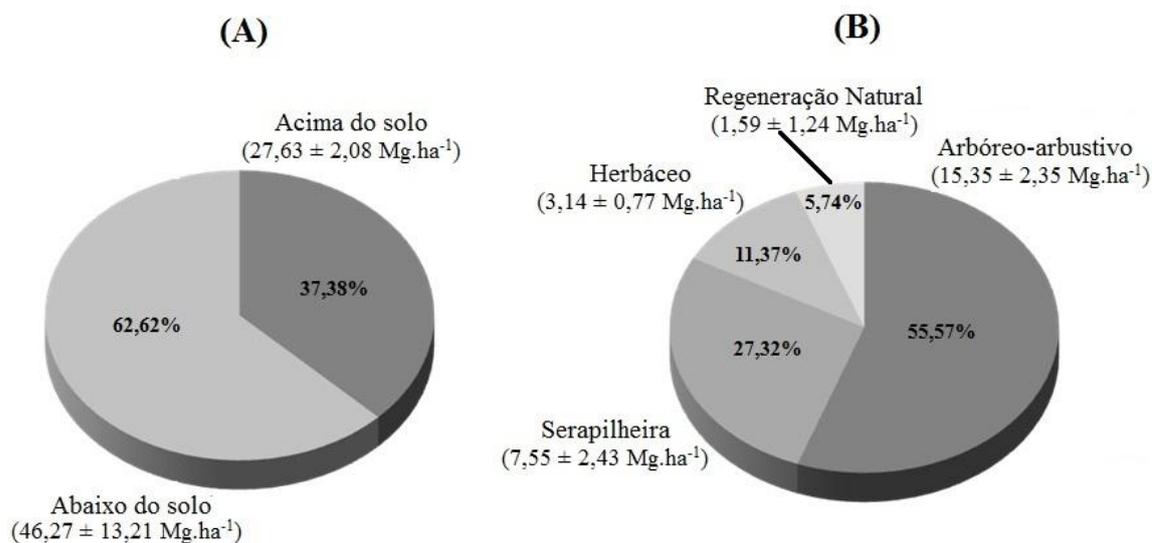


Figura 3. Estoques em biomassa acima e abaixo do solo (A) e também por estrato acima do solo (B), registrados em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

Os resultados encontrados para a biomassa corroboram com os obtidos em outros estudos realizados em áreas de cerrado *sensu stricto*. Castro e Kauffmann (1998) quantificaram a biomassa acima e abaixo do solo (até 2 m de profundidade) em áreas cerrado *sensu stricto* denso e aberto na RECOR – IBGE, no Distrito Federal. Os autores encontraram nas áreas de cerrado *sensu stricto* denso, cerca de 24,9 Mg.ha⁻¹ de biomassa acima do solo e 52,9 Mg.ha⁻¹ de biomassa abaixo do solo. Em áreas de cerrado *sensu stricto* aberto, os autores registraram 24,8 Mg.ha⁻¹ de biomassa acima do solo e 46,6 Mg.ha⁻¹ de biomassa abaixo do solo.

Abdala et al. (1998) encontraram em uma área de cerrado *sensu stricto*, próximo a Brasília-DF, cerca de 39,8 Mg.ha⁻¹ de biomassa acima do solo e de 41,1 Mg.ha⁻¹ de biomassa abaixo do solo (até 620 cm de profundidade). Ribeiro et al. (2011) registraram valores médios de 73,96 Mg.ha⁻¹ e 37,50 Mg.ha⁻¹ de biomassa acima e abaixo do solo (raízes >10 mm, até 100 cm de profundidade), respectivamente, em uma área de cerrado *sensu stricto* localizada em Curvelo-MG.

Oliveras et al. (2013) quantificaram a biomassa de raízes (até a profundidade de 30 cm) em uma área de cerrado *sensu stricto*, subdivida em unidades amostrais submetidas a diferentes regimes de fogo, localizada na Reserva Ecológica do IBGE (próximo a Brasília-DF). Os autores encontraram valores médios variando de 22,30 a 28,00 Mg.ha⁻¹. Estes autores não detectaram o efeito do fogo sobre a biomassa total abaixo do solo. Castro-Neves (2007), estudando a influência de queimadas prescritas sobre a vegetação do Cerrado, não constatou o efeito do fogo sobre a biomassa de raízes finas (< 5 mm). O autor observou apenas a influência do fogo na parte aérea da vegetação.

Baseando-se nos resultados encontrados por Castro-Neves (2007), é provável que o incêndio ocorrido na área do presente estudo, cerca de dois anos antes da coleta de dados, tenha provocado poucas alterações na biomassa total de raízes, ao longo da profundidade do solo.

É importante destacar que os indivíduos lenhosos arbóreos-arbustivos ($Db \geq 5$ cm), com biomassa média de $15,35 \pm 2,35$ Mg.ha⁻¹, foram responsáveis pela maior parte da biomassa total quantificada acima do solo (Figura 3B). Esse valor está dentro do intervalo (6,60 a 23,80 Mg.ha⁻¹) já registrado em outros trabalhos desenvolvidos em outras áreas de cerrado *sensu stricto* localizadas no Distrito Federal (ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMANN, 1998; REZENDE et al., 2006; CASTRO-NEVES, 2007, PAIVA et al., 2011), mas, é bem inferior ao encontrado por Ribeiro et al. (2011), em área de cerrado *sensu stricto* localizada em Curvelo-MG (62,97 Mg.ha⁻¹).

A serapilheira foi o segundo estrato que apresentou maior estoque de biomassa acima do nível do solo ($7,55 \pm 2,43 \text{ Mg.ha}^{-1}$), seguido pelo estrato herbáceo ($3,14 \pm 0,77 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e pela regeneração natural ($1,59 \pm 1,24 \text{ Mg.ha}^{-1}$). Em estudos desenvolvidos em outras áreas de cerrado *sensu stricto*, os valores médios encontrados para esses estratos variaram de: 3,30 a 7,11 Mg.ha^{-1} para serapilheira (ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMANN, 1998; RIBEIRO et al., 2011; PAIVA et al., 2011); 4,89 a 7,90 Mg.ha^{-1} para plantas herbáceas (ABDALA et al., 1998, CASTRO-NEVES, 2007) e, 3,10 a 6,20 Mg.ha^{-1} para regeneração natural (ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMANN, 1998; RIBEIRO et al., 2011).

A relação entre a biomassa abaixo do solo e a biomassa acima do solo, também denominada como “*root:shoot ratio*” (R:S) foi igual a 1,69, considerando o total de biomassa na área. Abdala et al. (1998) encontraram o valor de 1,03 para essa relação em uma área de cerrado *sensu stricto* próximo à Brasília-DF. A relação R:S registrada no presente estudo e também no estudo realizado por Abdala et al. (1998), é superior a encontrada por Mokany et al. (2006), que ao analisarem a relação R:S para diferentes ecossistemas em escala global, verificaram valores de 0,64 para as savanas. Já Cairns et al. (1997), ao revisar a literatura sobre biomassa acima e abaixo do solo em ecossistemas florestais em diversas regiões do mundo, verificaram que essa relação tende a apresentar valores entre 0,20 e 0,30. Para Abdala et al. (1998), valores de R:S iguais à 1 já podem ser considerados relativamente altos.

No presente estudo, quando considerado apenas os componentes vivos (arbóreo-arbustivo, herbáceo e regeneração natural) como representantes da biomassa acima do solo, a biomassa abaixo do solo contribuiu com 69,74 % do total de biomassa existente na área e o valor de R:S subiu para 2,30. Os valores obtidos por Castro e Kauffmann (1998) para essa relação foram de 2,60 e 2,90, para áreas de cerrado aberto e cerrado denso, respectivamente. Estes resultados indicam que maior parte da biomassa verificada no cerrado estudado encontra-se alocada abaixo do solo.

O desenvolvimento, distribuição e consequente produção de biomassa vegetal subterrânea do solo são decorrentes da interação do genótipo da espécie com uma série de processos complexos e dinâmicos, que incluem o ambiente como um todo, o solo e a própria planta (CAIRNS et al., 1997; MENEZES et al., 2010). Diversos fatores interferem na relação R:S, entre eles os abióticos (temperatura, precipitação, umidade de solo, textura e fertilidade do solo, aeração do solo) e os bióticos (espécies, altura, diâmetro, volume, densidade da madeira, biomassa aérea, idade, estágio sucessional) (CAIRNS et al., 1997;

ABDALA et al., 1998; HAO et al., 2006; MOKANY et al., 2006; WANG et al., 2008, KENZO et al., 2010; COSTA et al., 2014; HUI et al., 2014). Dessa forma, fatores como o estresse hídrico e nutricional e a adaptação das espécies ao fogo podem estar associados aos altos valores da relação R:S observados no cerrado estudado.

Ao avaliar a correlação entre a biomassa de raízes de diferentes classes de diâmetro com variáveis representativas da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* estudado (N, G, dg e H_L) e com os diferentes compartimentos que estocam biomassa acima do solo, foi observado que a biomassa das raízes > 10 mm e total (até a profundidade de 200 cm) apresentaram correlação negativa não significativa com essas variáveis, com exceção da regeneração natural, que foram altamente e positivamente correlacionadas ($r = 0,96$; $p < 0,01$) (Tabela 3). Já a biomassa das raízes das demais classes não apresentou padrão de correlação com as variáveis analisadas, exceto para as raízes < 2 mm e de 2 a 5 mm, que apresentaram correlação negativa e significativa apenas com N ($r = -0,97$; $p = 0,006$) e H_L ($r = -0,89$; $p = 0,045$), respectivamente.

Tabela 3. Correlação de Pearson entre a biomassa de raízes (até 200 cm de profundidade) de diferentes classes de diâmetro com variáveis representativas da comunidade lenhosa do cerrado *sensu stricto* localizado na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

Classe de diâmetro	N	G	dg	H _L	BL	R	H	S	BA
< 2 mm	-0,97*	-0,43	0,74	0,57	-0,10	0,10	0,79	-0,80	-0,70
2-5 mm	0,27	-0,49	-0,82	-0,89*	-0,73	0,16	-0,16	0,63	-0,06
5-10 mm	0,11	0,49	0,31	0,29	0,49	0,63	-0,47	-0,63	0,02
> 10 mm	-0,07	-0,22	-0,22	-0,34	-0,29	0,96*	-0,48	-0,52	-0,54
Total	-0,06	-0,19	-0,20	-0,32	-0,26	0,96*	-0,48	-0,53	-0,52

* Significativo ao nível de 5% de significância; N = Densidade (ind.ha⁻¹); G = Área basal (m².ha⁻¹); dg = diâmetro médio quadrático (cm); H_L = Altura de Lorey (m); BL = Biomassa das espécies lenhosas com Db ≥ 5 cm (Mg.ha⁻¹); R = Biomassa da regeneração natural (Mg.ha⁻¹); H = Biomassa do componente herbáceo (Mg.ha⁻¹); S = Biomassa da serapilheira (Mg.ha⁻¹); BA = Total de biomassa acima do solo (Mg.ha⁻¹).

Castro-Neves (2007), ao estudar uma área de cerrado *sensu stricto* submetida a diferentes regimes de queimadas, verificou que a biomassa de raízes finas (< 5 mm) não apresentou relação nem com a biomassa de espécies arbóreas (Db > 1 cm) e nem com a biomassa do estrato rasteiro. Por outro lado, Kuyah et al. (2012), ao avaliarem os estoques em biomassa em três sítios florestais no Quênia, verificaram que as variáveis diâmetro a altura do peito (DAP), diâmetro ao nível do solo (DNS) e a biomassa acima do solo mostraram forte correlação com a biomassa abaixo do solo, explicando mais de 90 % da variabilidade da biomassa abaixo do solo. Uma das possíveis explicações de que os

resultados obtidos no presente trabalho difere dos obtidos por Kuyah et al. (2012) é que tais autores abordaram a biomassa em nível de árvores individuais, enquanto o presente trabalho abordou a biomassa por unidade de área.

6.3 DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA DE RAÍZES AO LONGO DO PERFIL DO SOLO

A biomassa total abaixo do solo, segundo análise de variância de Kruskal Wallis (H), se distribuiu de forma heterogênea ao longo do perfil do solo ($H = 26,62; p < 0,0001$), sendo os maiores estoques registrados nas camadas superficiais do solo (Figura 4).

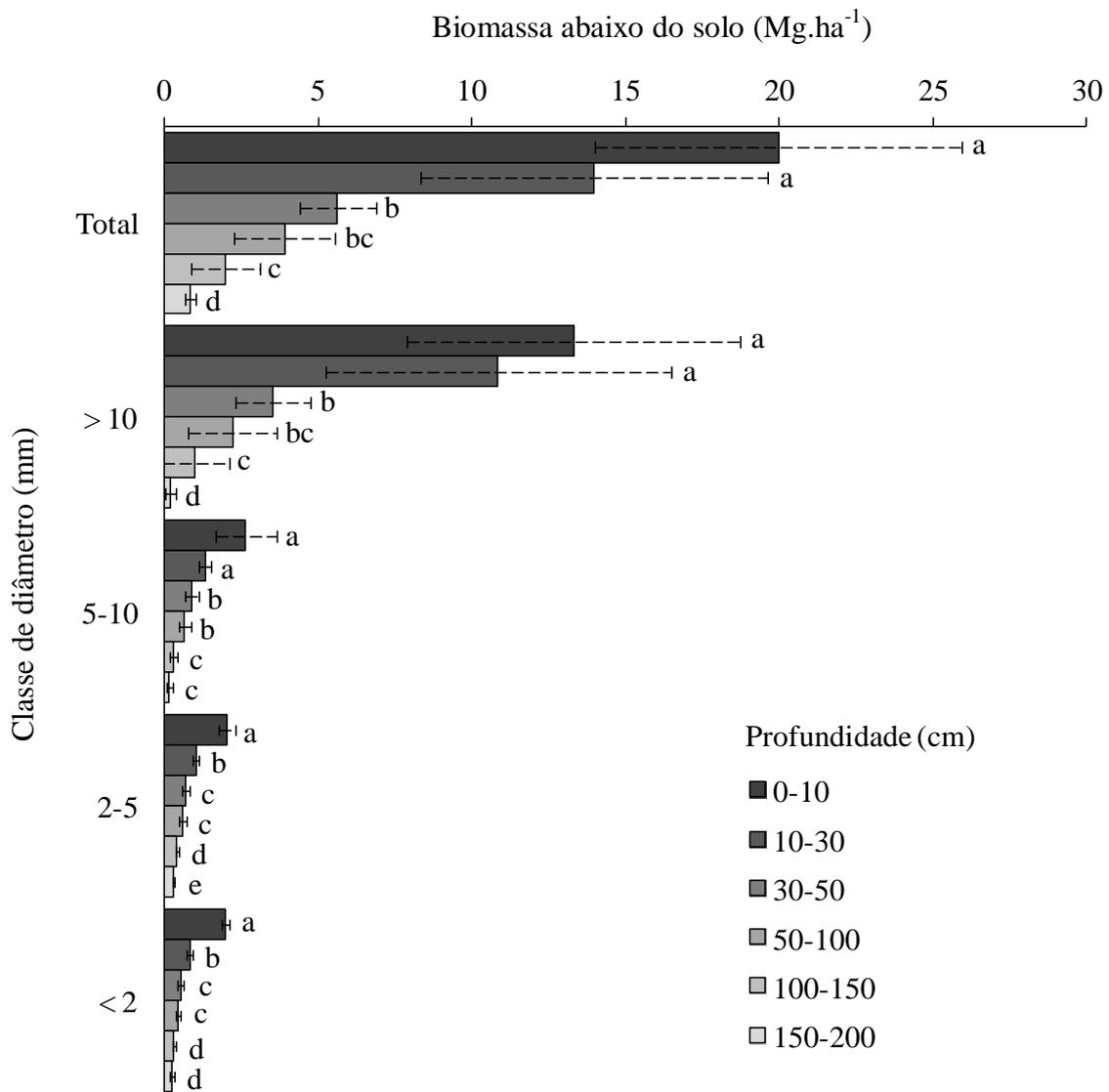


Figura 4. Distribuição vertical da biomassa de raízes em função da classe diamétrica, encontrada em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. As barras representam as médias \pm desvios padrão. Para uma mesma classe diamétrica, barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$).

A biomassa encontrada nos intervalos de 0-10 cm ($19,97 \pm 5,97 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e de 10-30 cm ($13,98 \pm 5,64 \text{ Mg.ha}^{-1}$) foram estatisticamente iguais entre si ($p = 0,2222$) e superiores às obtidas em profundidades maiores que 30 cm ($p < 0,0120$). Os valores obtidos no intervalo de 30-50 cm ($5,62 \pm 1,24 \text{ Mg.ha}^{-1}$) foi estatisticamente igual à ao do intervalo de 50-100 cm ($3,89 \pm 1,64 \text{ Mg.ha}^{-1}$) ($p = 0,2222$) e diferente de profundidades a partir de 100 cm ($p < 0,0120$). A biomassa obtida no intervalo de 150-200 cm ($0,84 \pm 0,16 \text{ Mg.ha}^{-1}$) foi estatisticamente inferior aos demais intervalos ($p < 0,0120$). Os altos valores de desvio padrão observados indica a grande heterogeneidade espacial da biomassa de raízes na área de estudo.

A distribuição vertical da biomassa de raízes obtida no presente trabalho corrobora com a obtida por Castro e Kauffmann (1998), em duas áreas de cerrado *sensu stricto*. Esses autores verificaram que a biomassa contida nos intervalos de 0-10 cm e 10-20 cm, foram significativamente superiores às obtidas nos intervalos de 20-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm e 100-200 cm, verificando ainda, para o cerrado denso, que a biomassa contida no intervalo de 100-200 cm foi significativamente inferior aos demais intervalos.

Ao avaliar a distribuição vertical da biomassa de raízes por classe de diâmetro, foi observado comportamento semelhante ao obtido para a biomassa total de raízes, onde todas as classes se apresentaram concentradas nas camadas superficiais do solo ($> 10 \text{ mm}$: $H = 25,19$ e $p = 0,0001$; $5-10 \text{ mm}$: $H = 26,45$ e $p < 0,0001$; $2-5 \text{ mm}$: $H = 27,49$ e $p < 0,0001$; $< 2 \text{ mm}$: $H = 26,94$ e $p < 0,0001$). A biomassa das raízes $> 10 \text{ mm}$, obtida nos intervalos de 0-10 cm ($13,3 \pm 5,43 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e de 10-30 cm ($10,83 \pm 5,62 \text{ Mg.ha}^{-1}$) foram estatisticamente iguais entre si ($p = 0,6905$) e superiores à biomassa registrada em profundidades maiores que 30 cm ($p = 0,0079$). A menor média para essa classe foi verificada no intervalo de 150-200 cm ($0,18 \pm 0,16 \text{ Mg.ha}^{-1}$), que foi significativamente inferior aos demais intervalos ($p < 0,0318$). As raízes de 5-10 mm tiveram sua biomassa distribuída ao longo do perfil do solo de forma semelhante às raízes $> 10 \text{ mm}$, exceto para os intervalos de 100-150 cm e de 150-200 cm, que foram iguais entre si ($p = 0,1508$) e significativamente inferiores aos demais ($p < 0,0080$). Já para as raízes 2-5 mm e $< 2 \text{ mm}$, a biomassa obtida nos intervalos de 0-10 cm e 10-30 cm foram estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,0120$) e dos demais intervalos ($p < 0,0157$)

À medida que aumentou a profundidade escavada, foi verificada a redução da proporção de biomassa abaixo do solo para raízes de todas as classes de diâmetro. No intervalo de 0-10 cm foram verificados mais de 40 % do total de biomassa encontrada até a profundidade de 200 cm, sendo a maior proporção obtida para raízes $< 2 \text{ mm}$ (46,25 %)

(Figura 5). Já no intervalo de 10-30 cm, a maior proporção foi obtida para as raízes > 10 mm (34,89 %) e a menor para as raízes < 2 mm (18,89 %). Até a profundidade de 50 cm foram verificados 85,50 % do total de biomassa abaixo do solo e 89,09 %, 81,52 %, 75,13 % e 77,10 % da biomassa de raízes >10 mm, 5-10 mm, 2-5mm e < 2 mm, respectivamente. No intervalo de 100-200 cm foi observado apenas 6,08 % do total de biomassa abaixo do solo e 3,79 %, 7,57 %, 13,05 % e 12,44 % da biomassa de raízes >10 mm, 5-10 mm, 2-5mm e < 2 mm, respectivamente.

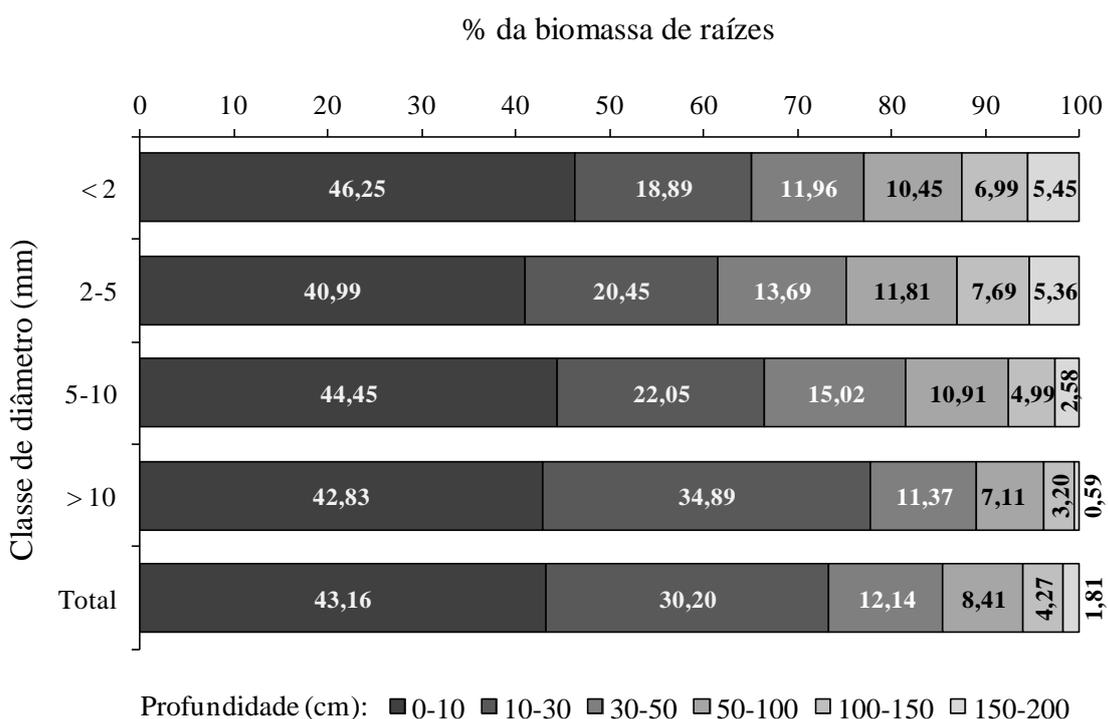


Figura 5. Contribuição da biomassa de raízes registrada em diferentes intervalos de profundidade do solo com o total de biomassa de raízes abaixo do solo, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

Outros trabalhos encontrados na literatura também reportaram a maior concentração da biomassa de raízes nas camadas superficiais do solo (FIALA e HERRERA, 1988; ELOWSON e RYTTER, 1993; ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMANN, 1998; DELITTI et al., 2001; RODIN, 2004; MARTINEZ e FERNANDEZ, 2006; OLIVERAS et al., 2013).

Castro e Kauffman (1998), estudando uma área de cerrado *sensu stricto* denso, verificaram que 31 % da biomassa total abaixo do solo estavam alocados na camada de 0-10 cm e 71 % até a profundidade de 30 cm. Para o cerrado *sensu stricto* aberto, cerca de 50 e 80 % da biomassa total estavam alocados nas profundidades de 10 e 30 cm,

respectivamente. Esses autores verificaram ainda que na camada de 100-200 cm do perfil do solo havia apenas 3-4 % da biomassa total.

Abdala et al. (1998), ao avaliarem o estoque de biomassa de raízes até a profundidade de 620 cm, em área de cerrado *sensu stricto*, verificaram que 70 % da biomassa total estavam alocadas até a profundidade de 50 cm do nível do solo e 80 % até a profundidade de 100 cm.

Rodin (2004), ao quantificar a biomassa de raízes > 2 mm até a profundidade de 800 cm, em diferentes áreas de cerrado (uma denominada pelo autor de “cerrado *stricto sensu*”, e duas como “cerrado denso”) próximo a Brasília-DF verificou que cerca de 90 % da biomassa total estava estocada até a profundidade de 100 cm. O percentual de biomassa verificado por esse autor no intervalo de 200-800 cm variou de 3,4 a 6,2 % da biomassa total.

O padrão verificado para a distribuição de raízes pode estar relacionado à disponibilidade de recursos. A maior concentração das raízes nas camadas superficiais do solo tem sido associada à maior disponibilidade de nutrientes provenientes da decomposição de resíduos vegetais na superfície de solo (COOMES e GRUBB, 2000; BALIEIRO et al., 2005; SAYER et al., 2006, SELLE et al., 2010), uma vez que, nos cerrados há decréscimo no teor de nutrientes com o aumento da profundidade do solo (HARIDASAN, 2000; ARAÚJO et al., 2007).

Ao avaliar o efeito dos fatores edáficos sobre a biomassa de raízes finas em florestas secas na Costa Rica, Powers e Pérez-Avile (2013), verificaram que a fertilidade do solo é mais importante que a idade das florestas para a produção de raízes finas. Ainda, segundo esses autores, o único caminho para as plantas responderem a baixa fertilidade do solo é aumentando a produção de raízes finas.

Já as raízes existentes nas camadas mais profundas do solo podem estar associadas à resistência das espécies ao estresse hídrico, uma vez que segundo Santos e Carlesso (1998), o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo. Esses autores ainda citam que o desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais profundas permite a melhor exploração da umidade e da fertilidade do solo pelas plantas. Oliveira et al. (2005), ao avaliar a dinâmica da água em áreas de cerrado, verificaram que durante a estação seca, 82% da água utilizada no cerrado denso e 67% no campo sujo, foi extraída de profundidades superiores a 1 m.

6.4 DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA DE RAÍZES POR CLASSE DE DIÂMETRO

A biomassa total de raízes (até a profundidade de 200 cm), segundo análise de variância de Kruskal Wallis (H), se distribuiu de forma heterogênea entre as raízes das diferentes classes de diâmetros ($H = 15,89$; $p = 0,0012$), sendo as raízes grossas responsáveis pela maior parte da biomassa obtida. A biomassa das raízes > 10 mm ($31,05 \pm 12,49$ Mg.ha⁻¹) foi estatisticamente superior às demais classes ($p = 0,0079$), enquanto que as raízes das classes intermediárias (2-5 mm e 5-10 mm) foram iguais entre si ($p = 0,1508$) e superiores às de diâmetro < 2 mm ($p < 0,0159$) (Figura 6).

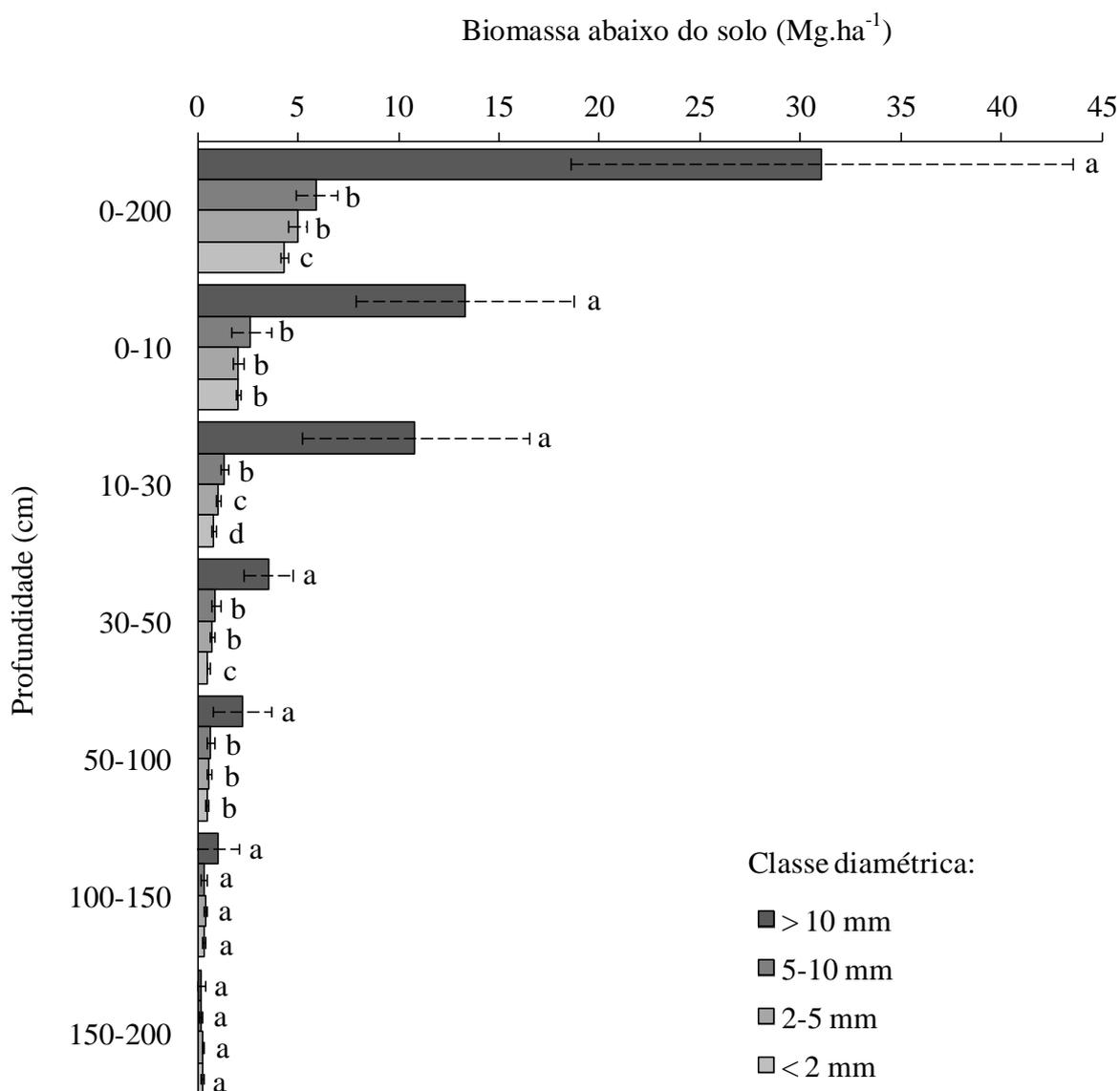


Figura 6. Biomassa de raízes de diferentes classes diamétricas em função da profundidade, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. As barras representam as médias \pm desvios padrão. Para um mesmo intervalo de profundidade, barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Mann-Whitney ($\alpha = 0,05$).

Estes resultados corroboram com os de Rodin (2004), que ao avaliar a biomassa de raízes > 2 mm em uma área de cerrado *sensu stricto*, até a profundidade de 100 cm, também observou maior estoque de biomassa nas raízes com diâmetro superior a 10 mm, enquanto os estoques de biomassa das raízes de 2-5 mm e de 5-10 mm, foram estatisticamente iguais entre si.

A quantidade de biomassa em raízes > 5 mm obtida no presente trabalho ($36,98 \pm 13,20 \text{ Mg.ha}^{-1}$) é semelhante à obtida no cerrado *sensu stricto* denso ($35,50 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e superior à do cerrado *sensu stricto* aberto ($28,00 \text{ Mg.ha}^{-1}$) estudado por Castro e Kauffmann (1998). Já a biomassa das raízes < 5 mm ($9,29 \pm 0,41 \text{ Mg.ha}^{-1}$) é inferior às obtidas no cerrado *sensu stricto* denso ($15,4 \text{ Mg.ha}^{-1}$) e cerrado *sensu stricto* aberto ($18,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$) por esses mesmos autores. A biomassa de raízes < 2 mm ($4,31 \pm 0,20 \text{ Mg.ha}^{-1}$) também é inferior à obtida por Rodin (2004), até profundidade de 310 cm, em um cerrado *sensu stricto* ($11,90 \pm 1,75 \text{ Mg.ha}^{-1}$).

Ao avaliar separadamente a distribuição da biomassa das raízes de diferentes classes de diâmetro, em cada intervalo de profundidade, foram observadas diferenças significativas para os intervalos de 0-10 cm ($H = 22,78$; $p = 0,0051$), 10-30 cm ($H = 17,19$; $p = 0,0006$), 30-50 cm ($H = 15,37$; $p = 0,0015$) e 50-100 cm ($H = 13,35$; $p = 0,0039$), enquanto que, não se diferenciaram para os intervalos de 100-150 cm ($H = 4,65$; $p = 0,1990$) e de 150-200 cm ($H = 5,57$; $p = 0,1345$). Nos intervalos 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm e 50-100 cm, a biomassa das raízes > 10 mm foi estatisticamente superior às demais classes ($p < 0,0120$) (Figura 6). A biomassa obtida nas demais classes de diâmetro, de forma geral, foram estatisticamente iguais entre si, ou então, apresentaram médias relativamente próximas. Os baixos valores de desvio padrão observado para as raízes mais finas indicam que essas raízes apresentam distribuição homogênea na área, enquanto as raízes grossas, com valores elevados de desvio padrão, apresentam alta variabilidade espacial.

As raízes > 10 mm contribuíram com grande parte da biomassa abaixo do solo em todos os intervalos de profundidade avaliados, exceto para o intervalo de 150-200 cm, onde as raízes de 5-10 mm contribuíram com 31,84 % da biomassa obtida no intervalo (Figura 7). As raízes > 10 mm representaram 67,10 % do total de biomassa abaixo do solo, sendo as maiores contribuições verificadas nos intervalos de profundidade de 0-10 cm (66,60 %) e de 10-30 cm (77,53 %).

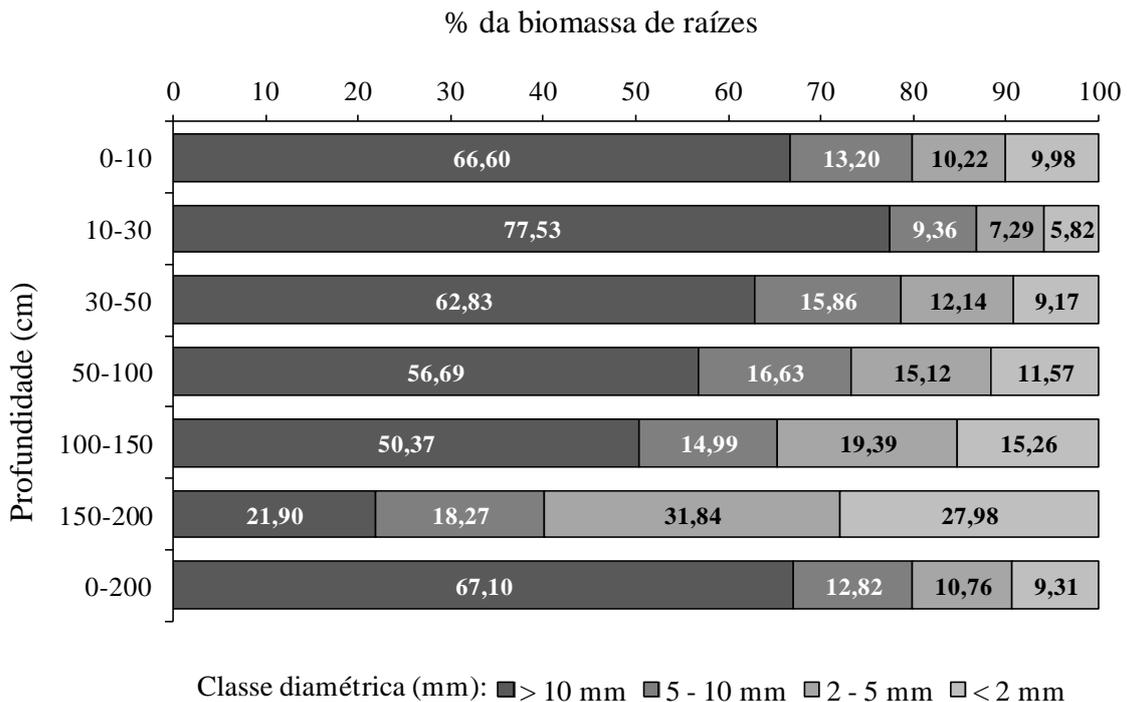


Figura 7. Contribuição da biomassa de raízes de diferentes classes de diâmetro com total de biomassa abaixo do solo para diferentes intervalos de profundidade avaliados, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

A maior contribuição das raízes grossas com o total de biomassa também foi verificada por Rodin (2004) para uma área de cerrado *sensu stricto* próximo a Brasília-DF. Esse autor verificou que as raízes > 10 mm contribuíram com 67 % da biomassa abaixo do solo (raízes > 2 mm), enquanto as das classes de 5-10 mm e 2-5 mm contribuíram com 20 % e 14 %, respectivamente. Castro e Kauffmann (1998) verificaram que as raízes grossas (> 6 mm) representaram 71 % e 60 % da biomassa abaixo do solo em áreas de cerrado *sensu stricto* denso e cerrado *sensu stricto* aberto, respectivamente.

As raízes < 2 mm representaram 9,31% do total de biomassa abaixo do solo. A maior participação dessas raízes foi verificada nos intervalos de 100-150 cm (15,26 %) e de 150-200 cm (27,98%). De forma geral, à medida que aumentou a profundidade, as raízes > 10 mm contribuíram com menor percentual da biomassa, enquanto as raízes mais finas (< 2 mm e 2 -5 mm) tiveram sua contribuição aumentada.

O aumento da proporção de raízes finas com a profundidade do solo pode estar associado à absorção de água por essas raízes nas camadas mais profundas do solo, uma vez que, segundo Jackson et al. (1997), as mesmas estão relacionadas principalmente com a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Para Rodin (2004), a produção de raízes finas no perfil do solo pode estar associada à variação temporal e espacial da

disponibilidade de água no solo, que influencia diretamente na disponibilidade de nutrientes. Já para Hao et al. (2006), as raízes das árvores são órgãos oportunistas e sua profundidade de penetração no solo depende tanto de características das espécies quanto das propriedades do solo, como disponibilidade de nutrientes e aeração.

Na literatura é reportada a influência da sazonalidade sobre a biomassa abaixo do solo (VOGT et al., 1998; DELITTI et al., 2001; RODIN, 2004; QUAN et al., 2010; YANG et al., 2010; GIRARDIN et al., 2013). Delitti et al. (2001) verificaram efeito sazonal significativo sobre a biomassa viva de raízes, sendo os maiores valores observados durante o período chuvoso e os menores durante a estação seca. Para uma área de campo aberto, esses autores verificaram que a biomassa de raízes < 20 mm, até a profundidade de 36 cm, variou de $8,54 \pm 1,63 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (outubro) para $14,48 \pm 4,22 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (abril), e para a área de cerradão, de $11,59 \pm 1,88 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (agosto) para $19,97 \pm 3,03 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (abril). Já Rodin (2004), observou que a taxa de produção de raízes finas diminuiu ao longo da estação seca e aumentou ao longo da estação chuvosa. Dessa forma, a biomassa de raízes verificada no presente estudo pode ter sofrido influência da sazonalidade, uma vez que a coleta de raízes foi realizada durante a estação seca (agosto e setembro). De acordo Vogt et al. (1998), as variações sazonais estão entre os fatores que causam erros na estimativa da biomassa de raízes.

6.5 AMOSTRAGEM DA BIOMASSA DE RAÍZES

A biomassa de raízes registrada na subparcela de 2 x 2 m (subparcela testemunha ou controle), até a profundidade de 200 cm, foi de $46,27 \pm 13,21 \text{ Mg.ha}^{-1}$ (média \pm desvio padrão). A Tabela 4 apresenta os estoques médios da biomassa de raízes pertencentes a diferentes classes de diâmetro, para cada uma das profundidades avaliadas, sendo estes quantificados a partir de diferentes métodos de amostragem. Os valores obtidos no tratamento controle (T13), foram considerados como o valor real da biomassa de raízes em cada uma das situações analisadas, permitindo assim, avaliar a eficiência dos demais métodos para a amostragem da biomassa de raízes na área de estudo.

Tabela 4. Biomassa seca (Mg.ha⁻¹) de raízes pertencentes a diferentes classes diamétricas distribuídas ao longo do perfil do solo, e determinadas a partir de diferentes métodos de amostragem, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

PROFUNDIDADE 0 - 10 cm					
Trat.	≤ 2 mm ⁽¹⁾	2 - 5 mm ⁽¹⁾	5 - 10 mm ⁽²⁾	≥ 10 mm ⁽²⁾	Total ⁽¹⁾
T1	0,65 ± 0,16 c	0,90 ± 0,71 b	1,18 ± 1,21 a	...	2,73 ± 1,23 c
T2	0,70 ± 0,18 c	1,04 ± 0,74 b	1,02 ± 0,80 a	...	2,76 ± 0,67 c
T3	1,15 ± 0,18 b	1,82 ± 0,95 ab	1,41 ± 1,13 a	6,22 ± 6,35 b	10,59 ± 6,32 ab
T4	1,06 ± 0,14 b	1,46 ± 0,50 ab	1,91 ± 0,81 a	8,06 ± 8,45 a	12,50 ± 7,95 ab
T5	1,02 ± 0,12 b	1,28 ± 0,31 ab	1,98 ± 0,69 a	5,60 ± 4,36 b	9,88 ± 3,94 b
T6	1,59 ± 0,29 a	2,04 ± 1,09 a	2,05 ± 0,89 a	8,71 ± 5,45 a	14,4 ± 5,40 ab
T7	1,78 ± 0,18 a	1,83 ± 0,51 ab	2,41 ± 1,18 a	11,99 ± 5,35 a	18,00 ± 5,07 a
T8	1,59 ± 0,07 a	1,76 ± 0,25 ab	2,37 ± 0,92 a	11,69 ± 4,99 a	17,40 ± 5,40 a
T9	1,59 ± 0,32 a	1,80 ± 0,71 ab	2,18 ± 1,51 a	8,98 ± 5,54 a	14,55 ± 6,52 ab
T10	1,81 ± 0,22 a	1,90 ± 0,44 ab	2,43 ± 1,17 a	11,85 ± 4,17 a	17,99 ± 4,61 a
T11	1,79 ± 0,20 a	1,85 ± 0,56 ab	2,31 ± 1,16 a	10,99 ± 7,17 a	16,94 ± 7,94 ab
T12	1,82 ± 0,16 a	1,87 ± 0,39 ab	2,36 ± 0,85 a	10,85 ± 4,43 a	16,9 ± 4,87 ab
T13	1,99 ± 0,12 a	2,04 ± 0,27 a	2,64 ± 0,99 a	13,30 ± 5,43 a	19,97 ± 5,97 a
Estatística	H = 53,33	H = 22,06	F = 1,20	F = 3,38	H = 35,36
<i>p</i> -valor	< 0,0001	0,0368	0,3089	0,0011	0,0004
PROFUNDIDADE 0 - 30 cm					
Trat.	≤ 2 mm ⁽²⁾	2 - 5 mm ⁽²⁾	5 - 10 mm ⁽²⁾	≥ 10 mm ⁽¹⁾	Total ⁽¹⁾
T1	0,88 ± 0,24 d	1,28 ± 0,77 b	1,60 ± 1,09 b	0,22 ± 0,49 b	3,98 ± 1,09 b
T2	0,96 ± 0,21 d	1,49 ± 0,83 b	1,46 ± 0,91 b	0,22 ± 0,31 b	4,13 ± 0,78 b
T3	1,60 ± 0,22 c	2,75 ± 1,10 a	3,02 ± 1,96 a	8,93 ± 9,63 a	16,30 ± 10,86 a
T4	1,55 ± 0,47 c	2,42 ± 0,64 a	3,46 ± 1,02 a	15,15 ± 10,24 a	22,59 ± 10,83 a
T5	1,53 ± 0,13 c	2,16 ± 0,47 a	3,32 ± 0,54 a	11,67 ± 7,80 a	18,68 ± 7,69 a
T6	2,10 ± 0,36 b	3,02 ± 1,23 a	3,59 ± 0,97 a	14,29 ± 8,99 a	22,99 ± 9,95 a
T7	2,30 ± 0,29 b	2,72 ± 0,55 a	3,66 ± 1,20 a	20,68 ± 11,23 a	29,37 ± 10,76 a
T8	2,18 ± 0,12 b	2,65 ± 0,27 a	3,50 ± 0,93 a	19,28 ± 8,85 a	27,62 ± 9,10 a
T9	2,20 ± 0,35 b	2,79 ± 0,76 a	3,50 ± 1,69 a	15,35 ± 11,10 a	23,85 ± 12,31 a
T10	2,49 ± 0,29 a	2,85 ± 0,43 a	3,66 ± 1,42 a	20,88 ± 9,75 a	29,88 ± 10,33 a
T11	2,52 ± 0,27 a	2,88 ± 0,64 a	3,59 ± 1,23 a	20,93 ± 14,73 a	29,92 ± 15,31 a
T12	2,64 ± 0,22 a	2,96 ± 0,58 a	3,88 ± 0,92 a	21,82 ± 10,71 a	31,31 ± 10,92 a
T13	2,81 ± 0,09 a	3,06 ± 0,30 a	3,91 ± 1,07 a	23,75 ± 9,55 a	33,53 ± 10,05 a
Estatística	F = 33,21	F = 3,20	F = 2,27	H = 30,93	H = 32,96
<i>p</i> -valor	< 0,0001	0,0017	0,0213	0,0020	0,0009

Continua.

Tabela 4. Continuação.

PROFUNDIDADE 0 - 50 cm					
Trat.	≤ 2 mm ⁽²⁾	2 - 5 mm ⁽²⁾	5 - 10 mm ⁽¹⁾	≥ 10 mm ⁽¹⁾	Total ⁽¹⁾
T1	1,06 ± 0,23 d	1,57 ± 1,01 b	2,11 ± 0,82 b	0,22 ± 0,49 b	4,96 ± 0,78 b
T2	1,09 ± 0,22 d	1,74 ± 0,87 b	1,95 ± 0,78 b	0,23 ± 0,30 b	5,01 ± 0,52 b
T3	1,81 ± 0,26 c	3,29 ± 1,30 a	3,68 ± 2,57 ab	16,27 ± 14,44 a	25,06 ± 14,71 a
T4	1,76 ± 0,17 c	2,84 ± 0,74 a	3,97 ± 0,73 a	22,29 ± 15,14 a	30,87 ± 15,05 a
T5	1,84 ± 0,15 c	2,66 ± 0,52 a	4,00 ± 0,27 a	16,32 ± 10,98 a	24,82 ± 11,17 a
T6	2,45 ± 0,39 b	3,52 ± 1,46 a	4,55 ± 1,60 a	19,49 ± 9,88 a	30,00 ± 11,78 a
T7	2,68 ± 0,30 b	3,25 ± 0,72 a	4,47 ± 1,22 a	24,87 ± 12,27 a	35,28 ± 11,74 a
T8	2,61 ± 0,15 b	3,19 ± 0,42 a	4,35 ± 0,80 a	22,74 ± 10,38 a	32,88 ± 10,69 a
T9	2,64 ± 0,37 b	3,38 ± 0,96 a	4,36 ± 1,99 a	18,24 ± 11,70 a	28,63 ± 13,27 a
T10	2,94 ± 0,31 a	3,45 ± 0,58 a	4,52 ± 1,40 a	23,59 ± 9,83 a	34,50 ± 10,31 a
T11	3,01 ± 0,26 a	3,54 ± 0,80 a	4,48 ± 1,34 a	26,45 ± 18,66 a	37,48 ± 19,28 a
T12	3,16 ± 0,21 a	3,68 ± 0,75 a	4,87 ± 0,92 a	26,27 ± 13,03 a	37,98 ± 13,17 a
T13	3,32 ± 0,09 a	3,75 ± 0,35 a	4,80 ± 1,01 a	27,28 ± 9,56 a	39,15 ± 10,03 a
Estatística	F = 43,97	F = 3,26	H = 26,27	H = 29,2	H = 30,51
<i>p</i> -valor	< 0,0001	0,0015	0,0098	0,0037	0,0024
PROFUNDIDADE 0 - 100 cm					
Trat.	≤ 2 mm ⁽²⁾	2 - 5 mm ⁽²⁾	5 - 10 mm ⁽¹⁾	≥ 10 mm ⁽¹⁾	Total ⁽¹⁾
T1	1,23 ± 0,23 e	2,04 ± 1,25 b	2,23 ± 0,74 b	0,60 ± 1,35 b	6,10 ± 1,21 b
T2	1,24 ± 0,20 e	2,09 ± 0,99 b	2,21 ± 0,34 b	0,43 ± 0,65 b	5,97 ± 1,07 b
T3	2,20 ± 0,26 d	3,83 ± 1,63 a	4,59 ± 2,77 ab	16,92 ± 15,52 a	27,53 ± 16,4 a
T4	2,12 ± 0,08 d	3,38 ± 1,10 a	5,11 ± 1,55 a	22,89 ± 15,68 a	33,5 ± 15,28 a
T5	2,22 ± 0,19 d	3,32 ± 0,61 a	4,74 ± 0,73 a	18,79 ± 11,21 a	29,07 ± 11,6 a
T6	2,78 ± 0,38 c	4,13 ± 1,51 a	5,64 ± 2,50 a	21,87 ± 12,09 a	34,41 ± 15,13 a
T7	3,03 ± 0,30 c	3,93 ± 0,83 a	5,41 ± 1,53 a	26,65 ± 12,28 a	39,03 ± 11,84 a
T8	2,97 ± 0,16 c	3,78 ± 0,52 a	5,10 ± 0,80 a	25,02 ± 11,10 a	36,88 ± 11,39 a
T9	3,02 ± 0,34 c	3,87 ± 0,99 a	5,38 ± 2,56 a	19,92 ± 12,17 a	32,19 ± 14,51 a
T10	3,33 ± 0,30 b	4,04 ± 0,60 a	5,41 ± 1,53 a	24,94 ± 10,17 a	37,72 ± 10,96 a
T11	3,40 ± 0,22 b	4,09 ± 0,80 a	5,31 ± 1,55 a	28,32 ± 19,29 a	41,13 ± 20,13 a
T12	3,59 ± 0,17 a	4,27 ± 0,73 a	5,52 ± 0,82 a	28,96 ± 13,19 a	42,34 ± 13,18 a
T13	3,77 ± 0,13 a	4,33 ± 0,42 a	5,45 ± 1,02 a	29,49 ± 11,82 a	43,04 ± 12,37 a
Estatística	F = 58,12	F = 2,91	H = 27,27	H = 29,06	H = 29,82
<i>p</i> -valor	< 0,0001	0,0038	0,0071	0,0039	0,0030

Continua.

Tabela 4. Continuação.

PROFUNDIDADE 0 - 150 cm					
Trat.	$\leq 2 \text{ mm}^{(2)}$	2 - 5 mm ⁽²⁾	5 - 10 mm ⁽¹⁾	$\geq 10 \text{ mm}^{(1)}$	Total ⁽¹⁾
T1	1,39 ± 0,17 e	2,23 ± 1,25 b	2,26 ± 0,72 b	0,60 ± 1,35 b	6,49 ± 1,20 b
T2	1,38 ± 0,18 e	2,25 ± 1,07 b	2,26 ± 0,27 b	0,49 ± 0,79 b	6,38 ± 1,31 b
T3	2,39 ± 0,24 d	4,06 ± 1,55 a	4,99 ± 3,62 ab	16,92 ± 15,52 a	28,36 ± 16,58 a
T4	2,32 ± 0,11 d	3,66 ± 1,23 a	5,53 ± 2,22 a	23,06 ± 15,63 a	34,56 ± 15,25 a
T5	2,42 ± 0,22 d	3,58 ± 0,73 a	5,00 ± 1,04 a	19,11 ± 11,15 a	30,12 ± 11,69 a
T6	3,06 ± 0,31 c	4,38 ± 1,52 a	5,89 ± 2,64 a	22,00 ± 12,06 a	35,32 ± 15,28 a
T7	3,28 ± 0,27 c	4,22 ± 0,93 a	5,69 ± 1,46 a	26,9 ± 12,25 a	40,09 ± 11,86 a
T8	3,21 ± 0,17 c	4,08 ± 0,55 a	5,31 ± 0,79 a	25,54 ± 11,24 a	38,14 ± 11,58 a
T9	3,28 ± 0,30 c	4,25 ± 1,01 a	5,7 ± 2,96 a	20,51 ± 12,77 a	33,74 ± 15,51 a
T10	3,58 ± 0,27 b	4,41 ± 0,71 a	5,76 ± 1,57 a	25,7 ± 10,38 a	39,45 ± 11,30 a
T11	3,68 ± 0,19 b	4,49 ± 0,78 a	5,57 ± 1,77 a	28,96 ± 20,34 a	42,70 ± 21,45 a
T12	3,89 ± 0,17 a	4,68 ± 0,71 a	5,79 ± 0,88 a	29,77 ± 13,85 a	44,13 ± 13,95 a
T13	4,08 ± 0,15 a	4,72 ± 0,44 a	5,74 ± 1,02 a	30,48 ± 12,41 a	45,02 ± 13,09 a
Estatística	F = 80,70	F = 3,23	H = 28,32	H = 29,08	H = 29,74
<i>p</i> -valor	< 0,0001	0,0016	0,0050	0,0038	0,0031

PROFUNDIDADE 0 - 200 cm					
Trat.	$\leq 2 \text{ mm}^{(2)}$	2 - 5 mm ⁽²⁾	5 - 10 mm ⁽¹⁾	$\geq 10 \text{ mm}^{(1)}$	Total ⁽¹⁾
T1	1,49 ± 0,23 e	2,29 ± 1,28 b	2,26 ± 0,72 b	0,60 ± 1,35 b	6,65 ± 1,19 b
T2	1,50 ± 0,19 e	2,35 ± 1,07 b	2,26 ± 0,27 b	0,49 ± 0,79 b	6,60 ± 1,25 b
T3	2,62 ± 0,22 d	4,33 ± 1,51 a	5,19 ± 4,06 a	16,92 ± 15,52 a	29,07 ± 16,55 a
T4	2,53 ± 0,08 d	3,88 ± 1,26 a	5,69 ± 2,55 a	23,06 ± 15,63 a	35,16 ± 15,21 a
T5	2,61 ± 0,23 d	3,82 ± 0,85 a	5,11 ± 1,20 a	20,13 ± 9,52 a	31,67 ± 10,30 a
T6	3,29 ± 0,28 c	4,61 ± 1,48 a	6,02 ± 2,62 a	22,00 ± 12,06 a	35,91 ± 15,23 a
T7	3,53 ± 0,35 c	4,43 ± 0,95 a	5,78 ± 1,41 a	26,90 ± 12,25 a	40,64 ± 11,91 a
T8	3,43 ± 0,23 c	4,31 ± 0,60 a	5,43 ± 0,79 a	25,91 ± 11,48 a	39,08 ± 11,97 a
T9	3,49 ± 0,26 c	4,50 ± 1,01 a	5,77 ± 2,92 a	20,51 ± 12,77 a	34,28 ± 15,44 a
T10	3,82 ± 0,30 b	4,65 ± 0,77 a	5,88 ± 1,50 a	25,75 ± 10,35 a	40,10 ± 11,23 a
T11	3,89 ± 0,22 b	4,82 ± 0,76 a	5,69 ± 1,76 a	29,05 ± 20,46 a	43,45 ± 21,59 a
T12	4,10 ± 0,18 a	4,96 ± 0,69 a	5,97 ± 0,87 a	29,84 ± 13,92 a	44,87 ± 14,04 a
T13	4,31 ± 0,20 a	4,98 ± 0,46 a	5,93 ± 1,03 a	31,05 ± 12,49 a	46,27 ± 13,21 a
Estatística	F = 75,05	F = 3,72	H = 28,53	H = 29,18	H = 29,85
<i>p</i> -valor	< 0,0001	0,0005	0,0046	0,0037	0,0029

Valores apresentados em média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelos testes de Mann-Whitney ⁽¹⁾ ou de Scott-Knott ⁽²⁾ ($\alpha = 0,05$). H / F = Estatística da análise de variância não-paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis (H) ⁽¹⁾ ou paramétrica pela ANOVA (F) ⁽²⁾ ($\alpha = 0,05$). T1 = Tradagem em quatro pontos da subparcela; T2 = Tradagem em oito pontos da subparcela; T3 = Um monolito de 0,25 x 0,25 m; T4 = Dois monolitos de 0,25 x 0,25 m; T5 = Quatro monolitos de 0,25 x 0,25 m; T6 = Um monolito de 0,5 x 0,5 m; T7 = Dois monolitos de 0,5 x 0,5 m; T8 = Quatro monolitos de 0,5 x 0,5 m; T9 = Uma trincheira de 0,5 x 1,0 m; T10 = Duas trincheiras de 0,5 x 1,0 m; T11 = Uma trincheira de 1,0 x 1,0 m; T12 = Uma trincheira de 1,0 x 2,0 m; T13 = Uma trincheira de 2,0 x 2,0 m.

Na profundidade de 0-10 cm, apenas as raízes das classes de 5 a 10 mm não apresentaram diferenças estatísticas quanto ao método de amostragem utilizado ($F = 1,20$; $p = 0,3089$). Já as raízes das demais classes de diâmetro e total, quando amostradas com o trado (T1 e T2), apresentaram valores inferiores aos encontrados no tratamento controle (T13), isto é parcela de 2 x 2 m ($p < 0,0368$). De forma geral, a amostragem utilizando monolitos com dimensões de 0,25 x 0,25 m (T3, T4 e T5) também não proporcionaram boas estimativas da biomassa de raízes. A amostragem com o uso de monolitos com dimensões a partir 0,5 m (T6 a T12) apresentou maior eficiência para essa profundidade do que a amostragem por meio do trado e de monolitos de 0,25 m (T1 a T5), sendo as médias semelhantes à observada no tratamento controle (T13).

Para as demais profundidades avaliadas (0-30, 0-50, 0-100, 0-150 e 0-200 cm), as raízes das classes de 2 a 5 mm, 5 a 10 mm, > 10 mm e total, quando amostradas por meio de monolitos com dimensões a partir de 0,25 m (T3 a T12) apresentaram médias estatisticamente iguais às obtidas pelo tratamento controle, enquanto que, com o uso do trado, essas médias foram significativamente inferiores ($p < 0,0213$). Já para as raízes da classe < 2 mm, nas profundidades de 0-30 e 0-50 cm, os métodos de amostragem que utilizaram áreas inferiores a 1,0 m² (T1 a T9) proporcionaram valores estatisticamente inferiores aos obtidos no tratamento controle ($p < 0,0001$), e, para profundidades maiores que 100 cm, apenas a trincheira de 1 x 2 m (T12) foi semelhante ao controle.

Não foram encontrados na literatura trabalhos que compararam métodos de amostragem da biomassa de raízes em ecossistemas semelhantes ao que foi desenvolvido no presente trabalho. No entanto, os resultados obtidos corroboram com os de Ping et al. (2010), que ao avaliarem diferentes métodos para a amostragem da biomassa de raízes (até 30 cm) em áreas de pradarias na China, verificaram que o uso de trados com diâmetros de 3,8 cm e de 10 cm e monolitos de 0,25 m², quando comparados com a área de referência (1 m²), subestimaram a biomassa em todos os intervalos de profundidades avaliados, porém, apenas o trado de menor de diâmetro, que estimou 47,7 % da biomassa verificada na área de referência, diferiu estatisticamente desta.

Levillain et al. (2011), avaliando diferentes métodos de amostragem (trado com diâmetro de 8 cm, monolitos de 0,25 x 25 m e trincheiras de 1,5 e 3 m²) para a biomassa de raízes em plantio de eucalipto, aos seis anos de idade, no Congo, não observaram diferenças significativas entre os métodos testados para a biomassa de raízes das classes < 2 mm e de 2 a 10 mm. Contudo, para as raízes grossas (> 10 mm), estes autores consideraram que o uso do trado não foi um método adequado para estimativa de sua

biomassa, e a biomassa obtida a partir dos monolitos e das trincheiras não diferenciaram estatisticamente entre si, apesar de ter sido observado aumento da biomassa com o aumento da área amostrada.

No presente trabalho, também foi constatada a dificuldade de amostragem de raízes com o uso do trado, principalmente quando havia presença de raízes grossas, pois estas impediam a penetração do trado no solo, não permitindo a coleta de raízes na unidade amostral. No entanto, autores como Rau et al. (2009) e Otto et al. (2009), verificaram que o uso de coletores de solo mostraram ser eficientes para a amostragem de raízes. Rau et al. (2009), ao estimar a biomassa de raízes até a profundidade de 52 cm em florestas nos Estados Unidos, não verificaram diferenças entre as estimativas obtidas utilizando monolitos de 50 x 50 cm e coletor de solo com diâmetro de 7,62 cm (semi-mecanizado). Por sua vez, Otto et al. (2009) verificaram que biomassa de raízes de cana-de-açúcar amostradas com sonda (diâmetro de 5,5 cm) não diferiu da obtida por monolito (0,3 x 0,2 x 0,15 m), porém, devido ao pequeno volume amostrado, a técnica não foi considerada eficiente para avaliar a distribuição das raízes ao longo do perfil do solo. A diferença dos resultados obtidos por esses autores, com os obtidos no presente trabalho, pode estar associada ao tipo de equipamento utilizado para a coleta das amostras de solo contendo as raízes.

A Tabela 5 apresenta a diferença relativa (DR) dos valores de biomassa de raízes (diferentes classes de diâmetro) quantificados a partir dos métodos de amostragem em relação aos valores obtidos pelo tratamento controle (T13), considerando cada uma das profundidades avaliadas. Os tratamentos que utilizaram o trado para a amostragem de raízes proporcionaram os valores menos desejáveis de DR, sendo todos eles inferiores a -49 %, ou seja, independentemente da classe de diâmetro e da profundidade que as raízes foram amostradas, os valores quantificados com uso do trado, foram, no mínimo, 49 % menores do que os obtidos no tratamento controle. Para a maioria das situações avaliadas (classe de diâmetro e profundidade), os valores de DR foram negativos, indicando que a biomassa foi subestimada quando comparado com o tratamento controle. Essa diferença foi mais acentuada nos tratamentos que utilizaram menor área para a amostragem. Levillain et al. (2011) também verificaram maioria dos valores de DR negativos e as maiores diferenças nos tratamentos que utilizaram o trado para a amostragem da biomassa de raízes de eucalipto.

Tabela 5. Diferença relativa da biomassa de raízes determinada pela comparação entre os diferentes métodos de amostragem e o tratamento controle (subparcela de 2 x 2 m), em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

PROFUNDIDADE 0 - 10 cm												
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
< 2 mm	-67,6	-64,7	-42,5	-46,7	-48,7	-20,2	-10,9	-20,4	-20,3	-8,9	-10,1	-8,7
2 - 5 mm	-56,0	-49,1	-11,0	-28,4	-37,5	0,2	-10,5	-13,8	-11,9	-7,1	-9,5	-8,4
5 - 10 mm	-55,3	-61,5	-46,7	-27,6	-24,9	-22,1	-8,7	-10,1	-17,2	-8,0	-12,6	-10,6
> 10 mm	-53,2	-39,4	-57,9	-34,5	-9,8	-12,1	-32,5	-10,9	-17,4	-18,4
Total	-86,4	-86,2	-47,0	-37,4	-50,5	-27,9	-9,9	-12,9	-27,2	-9,9	-15,2	-15,4
PROFUNDIDADE 0 - 30 cm												
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
< 2 mm	-68,8	-65,8	-43,0	-44,7	-45,6	-25,4	-18,0	-22,2	-21,6	-11,4	-10,2	-5,9
2 - 5 mm	-58,3	-51,5	-10,4	-20,9	-29,6	-1,4	-11,1	-13,5	-8,9	-7,0	-6,0	-3,3
5 - 10 mm	-58,9	-62,6	-22,6	-11,3	-14,9	-8,1	-6,3	-10,4	-10,3	-6,4	-8,1	-0,7
> 10 mm	-99,1	-99,1	-62,4	-36,2	-50,9	-39,8	-12,9	-18,8	-35,4	-12,1	-11,9	-8,1
Total	-88,1	-87,7	-51,4	-32,6	-44,3	-31,4	-12,4	-17,6	-28,9	-10,9	-10,8	-6,6
PROFUNDIDADE 0 - 50 cm												
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
< 2 mm	-68,0	-67,2	-45,4	-46,9	-44,8	-26,4	-19,3	-21,5	-20,5	-11,5	-9,5	-5,0
2 - 5 mm	-58,2	-53,7	-12,2	-24,1	-28,9	-6,1	-13,2	-14,9	-9,8	-7,8	-5,5	-1,6
5 - 10 mm	-56,0	-59,5	-23,4	-17,2	-16,7	-5,2	-6,8	-9,4	-9,0	-5,9	-6,5	1,5
> 10 mm	-99,2	-99,1	-40,4	-18,3	-40,2	-28,6	-8,8	-16,7	-33,1	-13,5	-3,1	-3,7
Total	-87,3	-87,2	-36,0	-21,2	-36,6	-23,4	-9,9	-16,0	-26,9	-11,9	-4,3	-3,0
PROFUNDIDADE 0 - 100 cm												
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
< 2 mm	-67,5	-67,2	-41,7	-43,8	-41,2	-26,3	-19,6	-21,2	-20,1	-11,9	-9,8	-5,0
2 - 5 mm	-52,9	-51,9	-11,7	-22,0	-23,4	-4,8	-9,4	-12,7	-10,8	-6,9	-5,7	-1,5
5 - 10 mm	-59,0	-59,3	-15,8	-6,1	-13,0	3,5	-0,6	-6,3	-1,2	-0,7	-2,4	1,3
> 10 mm	-98,0	-98,6	-42,6	-22,4	-36,3	-25,8	-9,6	-15,2	-32,4	-15,4	-4,0	-1,8
Total	-85,8	-86,1	-36,0	-22,2	-32,5	-20,0	-9,3	-14,3	-25,2	-12,4	-4,4	-1,6
PROFUNDIDADE 0 - 150 cm												
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
< 2 mm	-65,8	-66,1	-41,3	-43,0	-40,7	-25,0	-19,5	-21,1	-19,5	-12,1	-9,8	-4,6
2 - 5 mm	-52,6	-52,3	-13,9	-22,4	-24,1	-7,2	-10,6	-13,5	-10,0	-6,5	-4,8	-0,8
5 - 10 mm	-60,6	-60,7	-13,1	-3,7	-12,9	2,5	-0,9	-7,5	-0,8	0,4	-2,9	0,9
> 10 mm	-98,0	-98,4	-44,5	-24,4	-37,3	-27,8	-11,8	-16,2	-32,7	-15,7	-5,0	-2,3
Total	-85,6	-85,8	-37,0	-23,2	-33,1	-21,5	-11,0	-15,3	-25,1	-12,4	-5,2	-2,0
PROFUNDIDADE 0 - 200cm												
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
< 2 mm	-65,4	-65,2	-39,1	-41,3	-39,5	-23,7	-18,2	-20,4	-18,9	-11,2	-9,8	-4,8
2 - 5 mm	-54,0	-52,9	-13,0	-22,1	-23,3	-7,4	-11,0	-13,5	-9,6	-6,6	-3,2	-0,3
5 - 10 mm	-61,9	-61,9	-12,5	-4,1	-13,8	1,4	-2,6	-8,5	-2,7	-1,0	-4,2	0,6
> 10 mm	-98,1	-98,4	-45,5	-25,7	-35,2	-29,2	-13,4	-16,5	-33,9	-17,1	-6,4	-3,9
Total	-85,6	-85,7	-37,2	-24,0	-31,6	-22,4	-12,2	-15,5	-25,9	-13,3	-6,1	-3,0

Sendo: T1 = Tradagem em quatro pontos da subparcela; T2 = Tradagem em oito pontos da subparcela; T3 = Um monolito de 0,25 x 0,25 m; T4 = Dois monolitos de 0,25 x 0,25 m; T5 = Quatro monolitos de 0,25 x 0,25 m; T6 = Um monolito de 0,5 x 0,5 m; T7 = Dois monolitos de 0,5 x 0,5 m; T8 = Quatro monolitos de 0,5 x 0,5 m; T9 = Uma trincheira de 0,5 x 1,0 m; T10 = Duas trincheiras de 0,5 x 1,0 m; T11 = Uma trincheira de 1,0 x 1,0 m; T12 = Uma trincheira de 1,0 x 2,0 m.

Apesar do uso do trado não ter proporcionado boas estimativas de biomassa de raízes, outros trabalhos conseguiram bons resultados usando essa técnica de amostragem, principalmente para o caso de amostragem de raízes finas (DELLITI et al., 2001; RODIN, 2004; CASTRO-NEVES, 2007; OLIVERAS et al., 2013). Delliti et al. (2001) utilizaram o trado para a amostragem da biomassa de raízes < 2 cm até a profundidade de 36 cm e verificaram valores variando de $8,54 \pm 1,63 \text{ Mg.ha}^{-1}$ a $14,48 \pm 4,22 \text{ Mg.ha}^{-1}$, em uma área de campo aberto, e de $11,59 \pm 1,88 \text{ Mg.ha}^{-1}$ a $19,97 \pm 3,03 \text{ Mg.ha}^{-1}$, em uma área de cerrado. Castro-Neves (2007), usando também o trado, encontrou valores de biomassa variando de 19,6 a 25,3 Mg.ha^{-1} para raízes < 5 mm, até a profundidade de 50 cm, em áreas de cerrado *sensu stricto* submetidas a diferentes regimes de fogo. Os valores verificados por esses autores são bastante superiores aos observados no presente trabalho.

Ao avaliar os valores de DR para o total de raízes, os tratamentos que apresentaram resultados mais satisfatórios foram T7, T8, T10, T11 e T12, os quais possibilitaram a obtenção de valores, no máximo, 17,6 % menores do que os observados no tratamento controle (T13), independentemente da profundidade em que as raízes foram amostradas. A biomassa total de raízes verificada até a profundidade de 200 cm, obtida a partir da amostragem utilizando esses tratamentos, variou de $39,08 \pm 11,97 \text{ Mg.ha}^{-1}$ a $44,87 \pm 14,04 \text{ Mg.ha}^{-1}$. Esses valores estão dentro do intervalo de $35,1 \text{ Mg.ha}^{-1}$ a $52,9 \text{ Mg.ha}^{-1}$, que foram reportados em outras áreas de cerrado *sensu stricto* (ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMANN, 1998; RODIN, 2004; CASTRO-NEVES, 2007; RIBEIRO et al., 2011), mesmo cada um desses autores tendo utilizado metodologias diferenciadas quanto a profundidade de amostragem, classe diamétrica das raízes e distribuição das unidades amostrais.

Quando avaliada a precisão da biomassa total de raízes, obtida a partir dos diferentes métodos de amostragem, verificou-se que os tratamentos T7, T8, T10, T11 e T12, proporcionaram maior precisão, sendo semelhantes ao tratamento controle – T13 (Tabela 6). No tratamento controle, o erro de amostragem variou entre 31,57 % e 33,86 %, enquanto que nesses tratamentos, o erro verificado variou de 29,03 % a 41,52 %. Dada a variabilidade natural existente na estrutura da vegetação do cerrado, a amostragem da biomassa total de raízes foi considerada satisfatória, mesmo com os erros amostrais superiores a 30%. Para atender uma precisão requerida de 20 %, considerando o tratamento controle, haveria necessidade de amostrar 9 parcelas na área estudo, exceto para profundidade de 0-50 cm (8 parcelas). Já para os tratamentos que proporcionaram maior precisão, ou seja, menor erro amostral, esse valor variou de 8 a 11 parcelas, sendo que,

para as profundidades de 0-30 e 0-50 cm, em todos os tratamentos, esse número foi maior do que o observado no tratamento controle.

Embora na profundidade de 0-30 cm e 30-50 cm, a escavação de dois monolitos de 0,5 x 0,5 m (T7) tenha apresentado erro de amostragem ligeiramente mais elevado, requerendo maior intensidade de amostragem, este tratamento apresenta a vantagem de exigir menor área a ser escavada, quando comparado com os demais tratamentos que apresentaram precisão semelhante à obtida pelo tratamento controle (T13). A escavação de dois monolitos em pontos distintivos da subparcela de 2 x 2 m, pode ter colaborado para que esse tratamento tenha representado a heterogeneidade da distribuição de biomassa de raízes na área de estudo.

Tabela 6. Precisão para o inventário florestal da biomassa abaixo do solo considerando os diferentes tratamentos utilizados para amostragem de raízes.

Trat.	0-10 cm		0-30 cm		0-50 cm		0-100 cm		0-150 cm		0-200 cm	
	E %	n _{20%}	E %	n _{20%}	E %	n _{20%}	E %	n _{20%}	E %	n _{20%}	E %	n _{20%}
T3	67,69	18	75,49	19	66,57	17	67,51	18	66,26	17	64,55	17
T4	72,06	18	52,81	14	55,27	15	51,71	14	50,01	14	49,04	13
T5	45,16	12	46,64	13	51,01	14	45,24	12	43,99	12	36,88	10
T6	42,53	12	49,04	13	44,50	12	49,83	13	49,05	13	48,07	13
T7	31,92	9	41,52	11	37,71	10	34,38	9	33,53	9	33,23	9
T8	35,17	9	37,35	10	36,83	10	35,01	9	34,43	9	34,71	9
T9	50,81	14	58,48	16	52,55	14	51,09	14	52,09	14	51,07	14
T10	29,03	8	39,20	11	33,88	9	32,94	9	32,48	9	31,75	9
T11	53,17	14	57,98	16	58,30	16	55,47	15	56,93	15	56,34	15
T12	32,67	9	39,53	11	39,30	11	35,27	10	35,84	10	35,45	10
T13	33,86	9	33,57	9	31,57	8	32,25	9	32,65	9	32,37	9

Sendo: E% = Erro de amostragem em porcentagem; n_{20%} = Intensidade de amostragem requerida, considerando a precisão de 20 %; T3 = Um monolito de 0,25 x 0,25 m; T4 = Dois monolitos de 0,25 x 0,25 m; T5 = Quatro monolitos de 0,25 x 0,25 m; T6 = Um monolito de 0,5 x 0,5 m; T7 = Dois monolitos de 0,5 x 0,5 m; T8 = Quatro monolitos de 0,5 x 0,5 m; T9 = Uma trincheira de 0,5 x 1,0 m; T10 = Duas trincheiras de 0,5 x 1,0 m; T11 = Uma trincheira de 1,0 x 1,0 m; T12 = Uma trincheira de 1,0 x 2,0 m; T13 = Uma trincheira de 2,0 x 2,0 m.

A maior parte da biomassa abaixo do solo amostrada na área de estudo foi observada nas camadas superficiais do solo. Vale destacar que 73,4 % da biomassa total de raízes encontrada até 200 cm de profundidade estavam estocadas na camada de 0-30 cm (Figura 8). Os valores de biomassa total acumulada nas profundidades de 0-30, 0-50, 0-100, 0-150 e 0-200 cm foram estatisticamente iguais entre si, no entanto, foram superiores à verificada na profundidade de 0-10 cm ($F = 3,94$; $p = 0,0094$). Estes resultados corroboram com outros trabalhos encontrados na literatura (FIALA e HERRERA, 1988; ELOWSON e

RYTTER, 1993; ABDALA et al., 1998; CASTRO e KAUFFMANN, 1998; DELITTI et al., 2001; RODIN, 2004; MARTINEZ e FERNANDEZ, 2006; OLIVERAS et al., 2013), os quais reportaram maior quantidade da biomassa de raízes nas camadas superficiais do solo. Dessa forma, dada a grande necessidade de recurso e mão de obra para amostragem da biomassa de raízes, a profundidade de 30 cm pode ser a mais indicada para a amostragem, uma vez que esta profundidade representa grande parte da biomassa de raízes existente na área, permitindo obter uma boa representatividade.

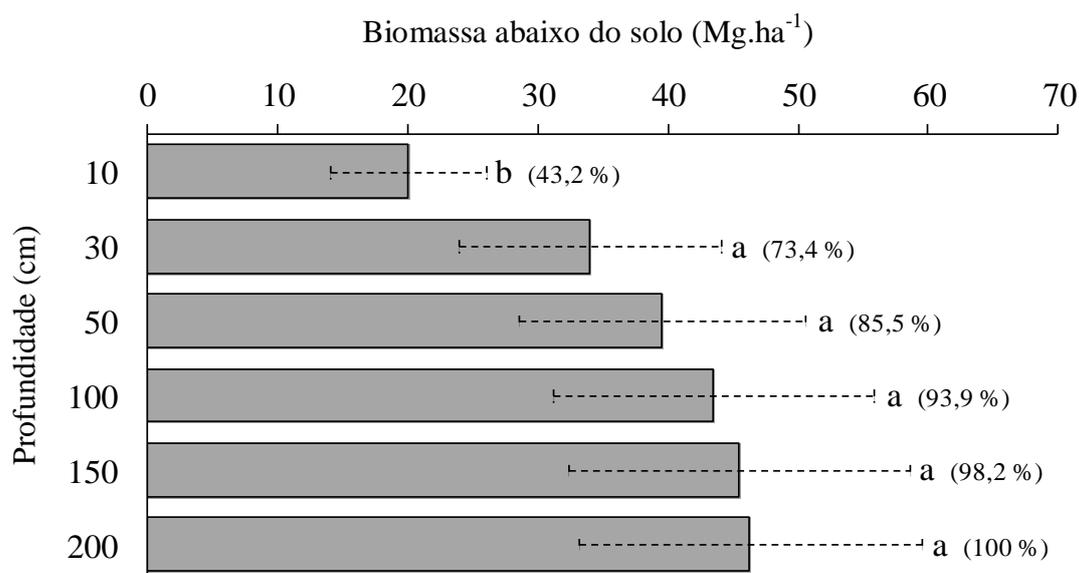


Figura 8. Biomassa total de raízes acumulada em diferentes profundidades do solo, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. As barras representam as médias \pm desvios padrão. Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$).

Como a amostragem da biomassa de raízes é uma atividade bastante onerosa, que requer grande quantidade de tempo e mão de obra, é indicada a utilização de métodos de amostragem que possibilitam minimizar esses problemas, permitindo assim, obter estimativas precisas e representativas da área a ser amostrada. Dessa forma, diante dos resultados obtidos no presente trabalho, acredita-se que a escavação de dois monolitos de 0,5 x 0,5 m (T7), demarcados no centro da parcela utilizada no inventário florestal, possam proporcionar boas estimativas da biomassa de raízes em áreas semelhantes á que foi realizado o presente estudo, apresentando como vantagem menor área escavada requerida, que além de causar menor impacto ambiental na área a ser amostrada, demanda menos tempo e mão de obra para a amostragem.

6.6 MODELOS DE REGRESSÃO PARA A BIOMASSA ABAIXO DO SOLO

Os resultados dos ajustes dos modelos de regressão visando à estimativa do estoque de biomassa seca de raízes estão apresentados na Tabela 7. Todos os modelos ajustados foram significativos ($p < 0,0029$), bem como os parâmetros envolvidos em cada modelo ($p < 0,0137$).

Observe na Tabela 7 que os modelos que utilizaram apenas a variável profundidade do solo como variável independente (modelos 5 e 6) apresentaram medidas de precisão inferiores, enquanto os modelos que envolveram outras variáveis independentes, como N, G, dg e H_L, juntamente com a profundidade do solo, apresentaram qualidade superior de ajuste. Nota-se ainda que os modelos não lineares (modelos 2, 4 e 6) apresentaram melhores medidas de ajuste do que os modelos lineares (modelos 1, 3 e 5).

Não foram encontradas na literatura, equações ajustadas para estimar a biomassa de raízes por unidade de área ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a partir das variáveis explicativas empregadas no presente estudo, o que dificultou a comparação com outros trabalhos desenvolvidos por outros pesquisadores. Os trabalhos encontrados abordando estimativas de biomassa de raízes com o uso de modelos alométricos, adotaram metodologias diferentes às utilizadas neste estudo, tanto para a coleta de dados, quanto para o ajuste dos modelos (NIIYAMA et al., 2010; RÍOS-CARRASCO e NÁVAR-CHÁIDEZ, 2010; KONÔPKA et al., 2011; KUYAH et al., 2012). Por exemplo, Kuyah et al. (2012) ajustaram modelos (linearizados) para estimar estoques de biomassa de raízes em florestas naturais no Quênia, e, para isso, escavaram as raízes (> 2 cm) de 72 árvores. Esses autores observaram que as melhores medidas de precisão foram encontradas nos modelos ajustados em função do DAP e altura das árvores ($R^2 = 0,959$; erro = 9,4 %) e, em função do DAP, altura e densidade da madeira das árvores ($R^2 = 0,961$; erro = 9,5 %).

Um estudo realizado por Konôpka et al. (2011), na Noruega, utilizou dados de 77 árvores para ajustar modelos não lineares visando a obtenção da biomassa de raízes ($> 0,5$ cm) em função do DAP e altura das árvores. Estes autores obtiveram boas medidas de precisão, com valores de R^2 superiores à 0,97.

Tabela 7. Parâmetros estimados, e suas respectivas medidas de precisão, para os modelos ajustados para estimativa da biomassa de raízes, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

Nº modelo	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 2$	$\beta 3$	$\beta 4$	$\beta 5$	F	p (Reg)	p (βi)	R	R ² _{aj}	EPR %
1	1918,429097	-231,334255	-0,592511	97,152299	-172,789926	-88,896090	49,04	< 0,0001	< 0,0011	0,9726	0,9424	9,10
2	60,129682	-8,319029	-0,017491	2,832041	-5,509386	-1,863775	2487,09	< 0,0001	< 0,0001	0,9952		3,85
3	2307,520403	-248,044163	-0,660908	102,674658	-249,617057		27,61	< 0,0001	< 0,0001	0,9383	0,8729	13,09
4	67,604952	-8,850760	-0,018776	2,927624	-7,046807		425,75	< 0,0001	< 0,0001	0,9633		10,16
5	44,671414	-245,839059					11,92	< 0,0029	< 0,0029	0,6311	0,3667	26,79
6	3,827204	-7,930920					145,55	< 0,0001	< 0,0137	0,6320		26,77

Sendo: βi = Parâmetros da regressão; F = Valor de F da análise de variância da regressão, p (Reg) = p-valor para a regressão; p (βi) = p-valor para os parâmetros estimados; R = Correlação entre os valores estimados e observados; R²_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado (modelos lineares); EPR % = Erro padrão residual em porcentagem.

A análise gráfica dos resíduos dos modelos ajustados é apresentada na Figura 9. Observe que as estimativas geradas pelos modelos 5 e 6 apresentaram grande variação, com erros altos que variaram de -64,2 a 31,6 %, com tendência a superestimar os menores valores observados e subestimar os maiores.

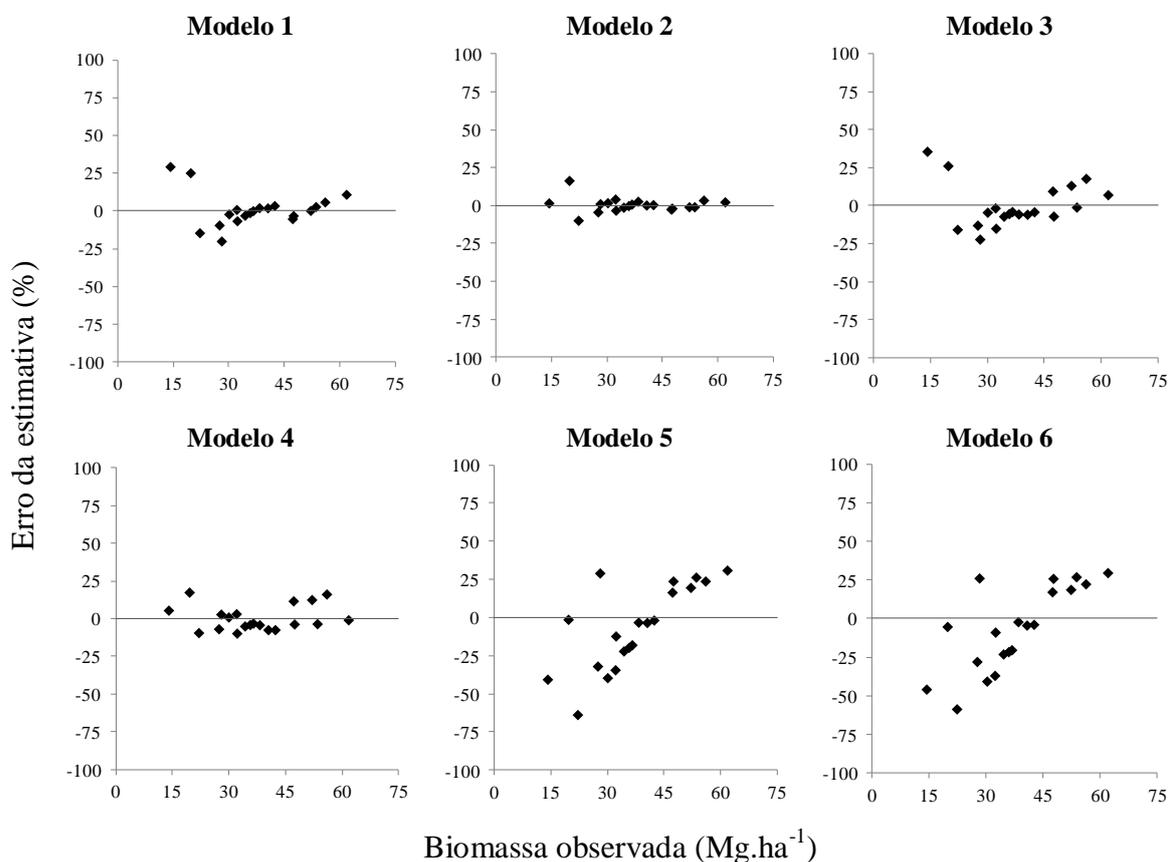


Figura 9. Distribuição residual (%) em função dos valores observados de biomassa seca de raízes gerada a partir dos diferentes modelos de regressão ajustados para estimar estoque de biomassa seca de raízes em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

A equação gerada pelo modelo 2 apresentou melhor distribuição residual, sem tendenciosidade, e com pequena dispersão relativa dos erros, que variaram de -10 a 17%, aproximadamente. Quando foi avaliado o erro em função da profundidade em que as raízes foram coletadas (Figura 10), verificou-se que o modelo 2 também se destacou, proporcionando a melhor distribuição residual, sem ocorrência de tendenciosidade.

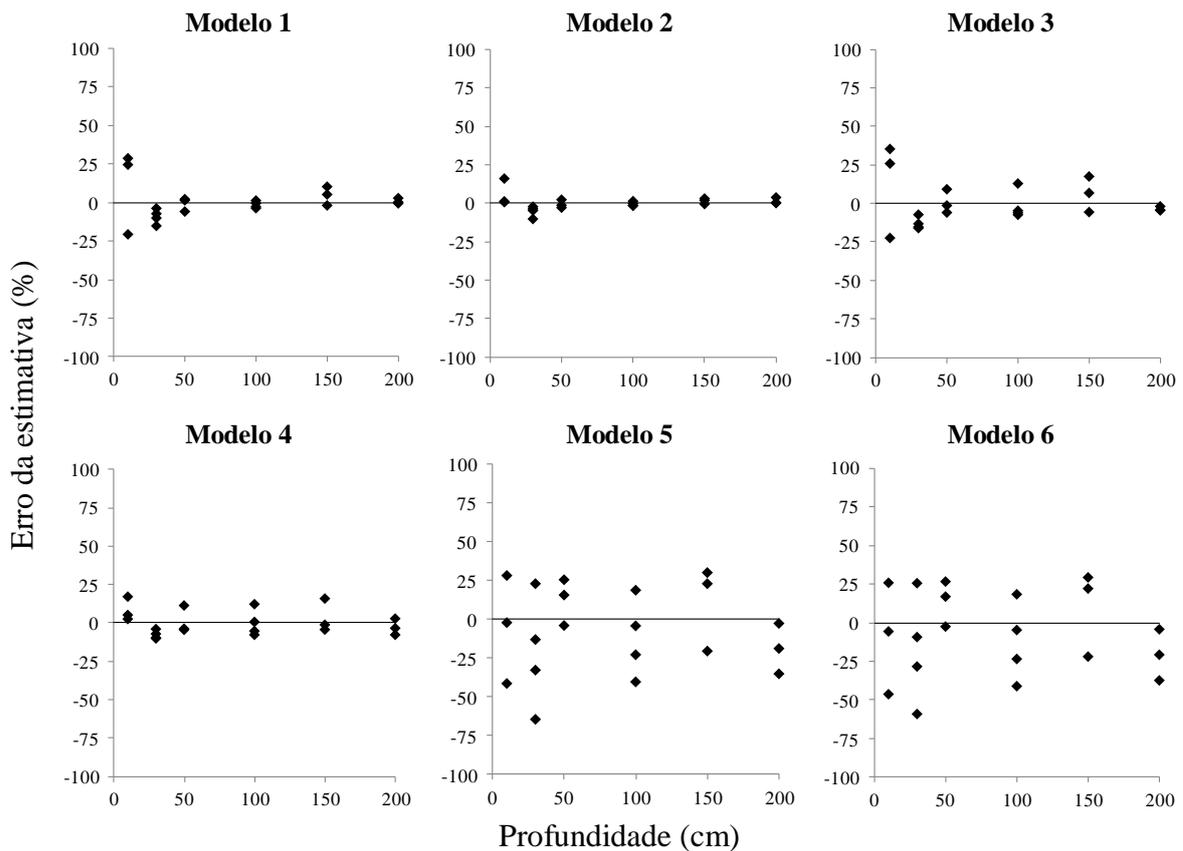


Figura 10. Distribuição residual (%) em função da profundidade de coleta de raízes gerada a partir dos diferentes modelos de regressão ajustados para estimar estoque de biomassa seca de raízes em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

Baseado nas análises comparativas, das medidas de precisão, verificou-se que o melhor modelo para estimar a biomassa seca de raízes foi o 2, que é um modelo não linear em que a biomassa seca de raízes é estimada em função da profundidade do solo, da densidade e área basal de indivíduos lenhosos na área, do diâmetro médio quadrático e da altura de Lorey.

Segundo o teste qui-quadrado (χ^2), utilizado para avaliar a equação selecionada (modelo 2), os valores da biomassa seca de raízes observados em diferentes profundidades do solo (dados deixados para avaliação do modelo) foram estatisticamente iguais aos valores estimados pela equação 2 ($\chi^2_{\text{tabelado}} = 16,91$; $\chi^2_{\text{calculado}} = 1,78$; $p = 0,9945$), indicando que a equação gerada a partir do ajuste do modelo 2 ($Y = e^{(60,129682 - 8,319029 \cdot \frac{1}{P} - 0,017491 \cdot N + 2,832041 \cdot G - 5,509386 \cdot dg - 1,863775 \cdot HL)}$) é indicada para a estimativa da biomassa seca de raízes na área de cerrado *sensu stricto* estudada. Entretanto, é importante ressaltar, que em virtude da grande dificuldade em amostrar raízes, essa

equação foi obtida a partir de um número pequeno de amostras (20 observações, obtidas em 5 parcelas), e o emprego da mesma em outras áreas de cerrado, em que as variáveis independentes (N, G, dg e H_L) apresentam padrões diferenciados dos obtidos no presente estudo, podem gerar estimativas incoerentes de biomassa de raízes. Dessa forma, como o ajuste de modelos para a estimativa da biomassa de raízes se constitui numa grande lacuna para as ciências florestais, principalmente em se tratando de áreas com vegetação natural, torna-se extremamente importante o desenvolvimento de futuros trabalhos que tenham como objetivo verificar a eficiência e/ou aprimorar os modelos propostos no presente trabalho.

A Figura 11 apresenta a comparação entre os valores estimados a partir da equação selecionada com os valores reais da biomassa seca de raízes, até diferentes profundidades, observadas nas cinco parcelas amostradas na área de estudo. Observa-se que a equação selecionada proporcionou boas estimativas da variável de interesse em todas as parcelas analisadas.

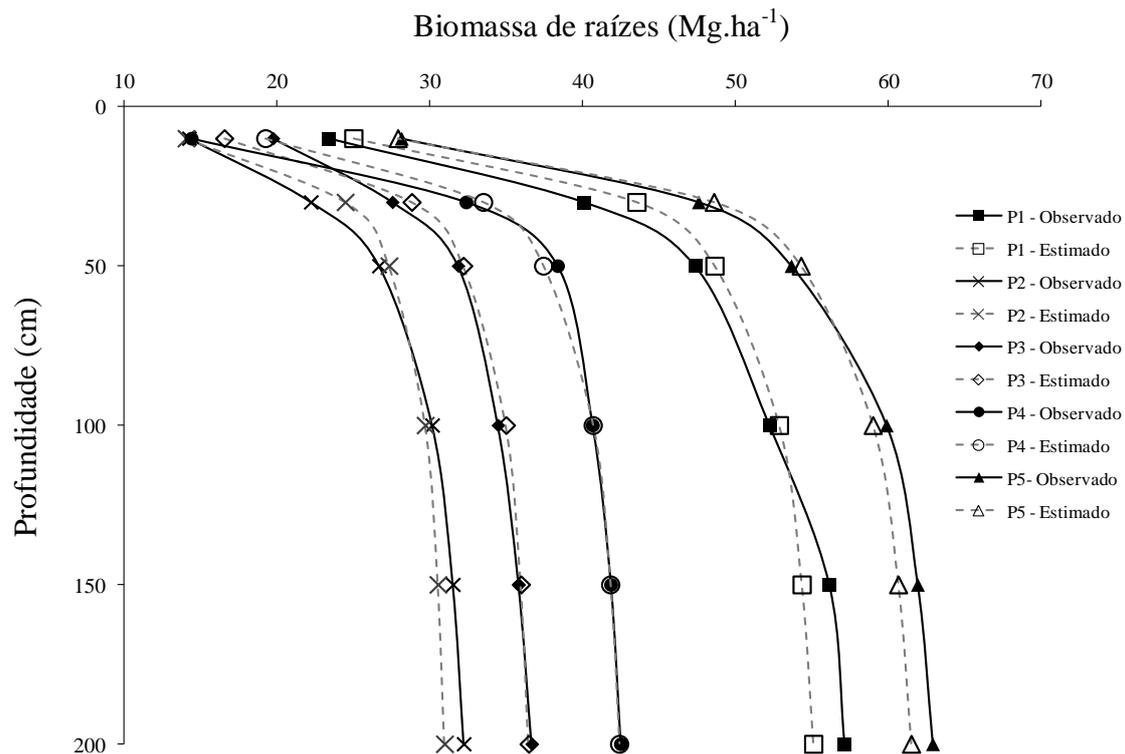


Figura 11. Comparação entre os valores de biomassa de raízes (Mg.ha⁻¹) observados e estimados, para cinco parcelas, em área de cerrado *sensu stricto* localizada na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF.

7. CONCLUSÕES

A partir dos resultados desta pesquisa é possível concluir que, no cerrado *sensu stricto* estudado:

- a vegetação investe mais na biomassa de raízes do que na biomassa aérea, sendo que aproximadamente 70 % da biomassa viva ocorre abaixo do solo;
- as camadas superficiais do solo são responsáveis por acumular a maior parte da biomassa estocada pelas raízes, sendo que, até as profundidades de 10, 30 e 50 cm encontram-se aproximadamente 43, 74 e 86 %, respectivamente, do total de biomassa seca registrada abaixo do solo;
- as raízes grossas (diâmetro > 10 mm) contribuem mais com o estoque em biomassa seca abaixo do solo (67,1 %) do que raízes finas (diâmetro < 2 mm), cujo valor registrado foi de apenas 9,3 %;
- a escavação de dois monolitos de 0,5 x 0,5 m, até a profundidade de 30 cm, distribuídos em cantos opostos de uma subparcela de 2 x 2 m é uma alternativa eficiente para captar a variabilidade espacial da biomassa de raízes, proporcionando estimativas com precisão semelhantes às obtidas com métodos que utilizaram maior área de escavação;
- o ajuste de modelos alométricos constitui-se numa boa alternativa para estimar de forma indireta a biomassa de raízes, ressaltando que equações alométricas devem ser específicas para cada condição de sítio.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O cerrado *sensu stricto* estudado apresentou estoque de biomassa médio de $73,90 \pm 12,26 \text{ Mg.ha}^{-1}$, sendo a sua maioria (62,62 %) verificada nas raízes, até a profundidade de 200 cm. Estes resultados reforçam a necessidade de considerar a biomassa subterrânea em estudos que visem à quantificação dos estoques em biomassa e carbono em áreas de Cerrado, caso contrário, esses estoques serão subestimados, não expressando a verdadeira importância que este bioma apresenta para o ciclo global do carbono. Dessa forma, o estabelecimento de medidas que visem à preservação e/ou recuperação de áreas com vegetação natural do Cerrado são extremamente importantes para a mitigação das mudanças climáticas.

Apesar da vegetação do Cerrado se caracterizar por apresentar sistema radicular bem desenvolvido, com raízes bastante profundas, a maior parte da biomassa de raízes foi verificada nas camadas superficiais do solo. As profundidades 10, 30, 50, 100 e 150 cm foram responsáveis por acumular, respectivamente, 43,16 %, 73,36 %, 85,50 %, 93,91 % e 98,18 % da biomassa total de raízes verificada até a profundidade de 200 cm. Estes percentuais estão de acordo aos que foram verificados em outras áreas de cerrado *sensu stricto* e os mesmos podem ser utilizados em novos estudos para estimar a biomassa de raízes até a profundidade de 200 cm, uma vez que coletar raízes em camadas profundas do solo é uma tarefa difícil.

Apesar das raízes grossas (diâmetro > 2 mm) representarem grande parte da biomassa abaixo do solo (90,69 %), a exclusão das raízes finas (diâmetro < 2 mm) durante a amostragem da biomassa de raízes, conforme sugerido pelo IPCC (2006) e FAO (2010) devido à dificuldade de separá-las empiricamente da serapilheira e matéria orgânica do solo, podem ocasionar em subestimativas da verdadeira capacidade de diferentes ecossistemas em sequestrar o CO₂ atmosférico. No presente trabalho, as raízes finas representaram aproximadamente 6 % do total de biomassa existente na área e 9 % da biomassa abaixo do solo. No entanto, vale ressaltar que a biomassa de raízes finas é bastante dinâmica, com altas taxas e mortalidade e emissão de novas raízes, as quais variam principalmente com os efeitos da sazonalidade. Dessa forma, sua real contribuição com o sequestro de carbono pode ser ainda maior e novos estudos visando verificar a verdadeira participação da biomassa de raízes finas no ciclo do carbono deverão ser desenvolvidos.

Dentre os diferentes métodos avaliados para a amostragem da biomassa de raízes, apenas os métodos que tiveram área escavada igual ou superior a 0,5 m² proporcionaram boas estimativas, com precisão semelhante à obtida pelo tratamento controle (4 m²). Como a amostragem da biomassa de raízes é uma atividade que consome grande quantidade de tempo e mão de obra, tornando-a bastante onerosa, é preferível a utilização dos métodos que requeiram menor área escavada e menor volume de terra removido. Dessa forma, atrelando essa informação à distribuição da biomassa de raízes pelo perfil do solo, recomenda-se que a amostragem da biomassa subterrânea em áreas de cerrado semelhantes à do presente estudo seja realizada por meio da escavação de dois monolitos de 0,5 x 0,5 m, demarcados em cantos opostos de uma subparcela de 2 x 2 m, escavados até a profundidade de 30 cm. A estimativa da biomassa acumulada até a profundidade de 200 cm poderá ser obtida com base no percentual de biomassa acumulada até a profundidade

de 30 cm (73,36 %). Apesar de recomendar essa metodologia, novos estudos deverão ser desenvolvidos visando aperfeiçoar a metodologia proposta no presente trabalho, bem como buscar por novas estratégias de amostragem, que torne a quantificação da biomassa de raízes uma atividade mais prática e menos onerosa.

O uso de variáveis que expressa a produtividade da área (N , G , dg e H_L) como variáveis preditoras proporcionou a obtenção de equações alométricas com boa precisão para a estimativa da biomassa de raízes, acumulada até diferentes profundidades, no cerrado *sensu stricto* estudado. No entanto, como os dados utilizados no ajuste foram obtidos a partir de um número pequeno de amostras (30 observações, obtidas em 5 parcelas), o emprego das equações obtidas à outras áreas de cerrado pode não apresentar a mesma precisão verificada no presente trabalho, sendo necessário verificar se os valores obtidos são coerentes ou não. Portanto, é extremamente importante o desenvolvimento de novos estudos que tenha como objetivo verificar a eficiência e/ou aprimorar os modelos propostos no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, G. C.; CALDAS, L. S.; HARIDASAN, M.; EITEN, G. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v.2, n.1, p.11-23, 1998.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres – O Caso do Cerrado Brasileiro**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30p. (Documentos, 105)

AGUIAR, R. G.; RANDOW, C. V.; PRIANTE FILHO, N.; MANZI, A. O.; AGUIAR, L. J. G.; CARDOSO, F. L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p.248-257, 2006.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.19, n.3, p.615-623, 2008.

ANDRADE, L. A. Z.; FELFILI, J. M.; VIOLATTI, L. Fitossociologia de uma área de cerrado denso na RECOR - IBGE, Brasília - DF. **Acta Botânica Brasílica**, v.16, n.2, p.225-240, 2002.

ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP (APG III). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.161, p.105-121, 2009.

ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. **Perspectivas para o estudo da biogeoquímica do carbono em macro-escala integrando diferentes técnicas:**

modelagem ecológica, sensoriamento remoto e SIG, São José dos Campos. INPE, 2003. 97p. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/sergio/2004/06.17.10.00>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA; M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra.** 41p. Colombo, PR: Embrapa Florestas. 2002.

ASSUNÇÃO, S. L.; FELFILI, J. M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.18, n.4, p.903-909, 2004.

BALIEIRO, F. C.; CEDDIA, M. B.; PEREIRA, M. G.; RESENDE, A. S.; FRANCO, A. A. Biomassa de raízes e regime hídrico do solo em plantio de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms em um planossolo háplico. **Floresta**, v.35, p.221-230, 2005.

BARBOSA, R. I.; SANTOS, J. R. S. **Protocolo (Versão 2) - Biomassa de raízes em ecossistemas de savana.** Boa Vista – Roraima, 2009. 15p.

BARBOSA, R. I.; SANTOS, J. R. S.; CUNHA, M. S.; PIMENTEL, T. P.; FEARNSSIDE, P. M. Root biomass, root:shoot ratio and belowground carbon stocks in the open savannahs of Roraima, Brazilian Amazonia. **Australian Journal of Botany**, v.60, n.5, p.405-416, 2012.

BARRETO, L. V; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de carbono. **Enciclopédia Biosfera**, n.7, p.1-10, 2009.

BIATO, M. F. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. **Revista de Informação Legislativa**, v.42, n.166, p.233-252, 2005.

BNDES (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL); MCT (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA). **Efeito estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima.** Rio de Janeiro: BNDES, Departamento de Relações Institucionais, 1999. 38p.

BÖHM, W. **Methods of studying root system.** Berlin, Springer-Verlag, 1979. 188p.

BOMBELLI, A.; AVITABILE, V.; BALZTER, H.; MARCHESINI, L. B.; BERNOUX, M.; BRADY, M.; HALL, R.; HANSEN, M.; HENRY, M.; HEROLD, M.; JANETOS, A.; LAW, E. B.; MANLAY, R.; MARKLUND, L. G.; OLSSON, H.; PANDEY, D.; SAKET, M.; SCHMULLIUS, C.; SESSA, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; VALENTINI, R.; WULDER, M. **Assessment of the status of the development of standards for the terrestrial essential climate variables: Biomass.** Food and Agriculture Organization - Global Terrestrial Observing System. Roma, 2009. 18p. (GTOS 67)

BRASIL. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cop17/panorama/a-convencao-quadro-das-nacoes-unidas-sobre-mudanca-do-clima>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2012.

BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v.116, p.363-372, 2002.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v.35, p.881-902, 1989.

CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v.111, p.1-11, 1997.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Adequação dos sistemas de produção rumo à sustentabilidade ambiental. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. de (Ed.). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.671-692.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n.2, p.277-290, 2010.

CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; ARAÚJO, R. N. O.; LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; LIMA, A. P.; HIGUCHI, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v.234, p.85-96, 2006.

CASTRO, E. A. **Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado**. 1996. 118f. (MS Thesis) Oregon State University, Corvallis, 1996.

CASTRO, E. A.; KAUFFMANN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, n.14, p.263-283, 1998.

CASTRO-NEVES, B. M. **Efeito de queimada em área de cerrado *sensu stricto* e na biomassa de raízes finas**. 2007. 82f. Tese (Doutorado em Ecologia). Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

CHANG, M. Y. Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba, Brasil, 2004. p.15-38.

CHEN, X. Y.; HUTLEY, L. B.; EAMUS, D. Carbon balance of a tropical savanna of northern Australia. **Oecologia**, v.137, p.405–416, 2003.

COLE, M. M. **The Savannas: biogeography and geobotany**. London: Academic Press, 1986. p.438.

CONRADO, D.; MUNHOZ, D. E. A.; SANTOS, M. C.; MELLO, R. F. L.; SILVA, V. B. Vulnerabilidades às mudanças climáticas. In: SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; CORTE, A. P. D. (Eds.). **(Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba, Brasil, 2006. p.80-92.

COOMES, D. A.; GRUBB, P. J. Impacts of root competition in forests and woodlands: a theoretical framework and review of experiments. **Ecological Monographs**, v.70, n.2, p.171-207, 2000.

COSTA, T. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J. O.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G. C.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MENEZES, R. S. C. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and Soil**, v.374, p.1-11, 2014.

CUNHA, P.; SANTAROSA, C. S. Desenvolvimento tecnológico em sequestro de carbono na Petrobrás. In: SANQUETTA, C. R.; ZILLOTTO, M. A. B.; CORTE, A. P. D. (Eds.). **Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba, Brasil, 2006. p.266-274.

CURTIS, R. O.; MARSHALL, D. D. Why quadratic mean diameter? **Western Journal of Applied Forestry**, v.15, n.3, p.137-139, 2000.

DALLAGNOL F.S.; FRANCELO MOGNON F.; SANQUETTA C. R.; CORTE, A. P. D. Teores de Carbono de Cinco Espécies Florestais e seus Compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.4, p.410-416, 2011.

DELITTI, W. B. C.; PAUSAS, J. G.; BURGER, D. M. Belowground biomass seasonal variation in two Neotropical savannahs (Brazilian Cerrados) with different fire histories. **Annals of Forest Science** v.58, p. 713-721, 2001.

DIAS, B. F. Conservação da biodiversidade no bioma Cerrado: histórico dos impactos antrópicos no bioma Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. (Eds). **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p.303-333.

DIAS, M. A. F. S. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n.71, p.44-51, 2006.

DIAS-FILHO, M. B. **A fotossíntese e o aquecimento global**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 24p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 234).

DJOMO, A. N.; KNOHL, A.; GRAVENHORST, G. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v.261, n.8, p.1448-1459, 2011.

DRAPPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley, 1981. 725p.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v.38, n.2, p.201-341, 1972.

ELOWSON, S.; RYTTER, L. Spatial distribution of roots and root nodules and total biomass production in grey alder plantation on sandy soil. **Biomass and Bioenergy**, v.5, n.2, p.127-135, 1993.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Global Forest Resources Assessment 2010 - Main report**. Rome, 2010. 378p. (FAO Forestry Paper, 163).

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v.16, n.44, p.99-123, 2002.

FEARNSIDE, P. M.; RIGHI, C. A.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; CERRI, C.C.; NOGUEIRA, E. M.; BARBOSA, R. I. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia". **Forest Ecology and Management**, v.258, p.1968-1978, 2009.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; HAIDAR, R. F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas cerrado e pantanal**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 51p.

FELFILI, J. M.; FAGG, C. W. Floristic composition, diversity and structure of the "cerrado" *sensu stricto* on rocky soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p.375-385, 2007.

FELFILI, J. M.; SILVA JR M. C.; REZENDE, A. V.; SILVA, M. A. Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, v.16, p.579-590, 2000.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C.; SEVILHA, A. C.; FAGG, C. W.; WALTER, B. M. T.; NOGUEIRA, P. E.; REZENDE, A. V. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in central Brazil. **Plant Ecology**, v.175, p. 37-46, 2004.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: Experimental Designs package. R package version 1.1.2**. 2013.

FIALA, K.; HERRERA, R. Living and dead belowground biomass and its distribution in some savanna communities in Cuba. **Folia Geobotanica et Phytotaxonomica**, v.23, p.225-237, 1988.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. **Science**, v.309, p.570-574, 2005.

FORZZA, R. C.; LEITMAN, P. M.; COSTA, A. F.; CARVALHO JR A. A.; PEIXOTO, A. L.; WALTER, B. M. T.; BICUDO, C.; ZAPPI, D.; COSTA, D. P.; LLERAS, E.; MARTINELLI, G.; LIMA, H.C.; PRADO, J.; STEHMANN, J. R.; BAUMGRATZ, J. F. A.; PIRANI, J. R.; SYLVESTRE, L.; MAIA, L. C.; LOHMANN, L. G.; QUEIROZ, L. P.; SILVEIRA, M.; COELHO, M. N.; MAMEDE, M. C.; BASTOS, M. N. C.; MORIM, M. P.; BARBOSA, M. R.; MENEZES, M.; HOPKINS, M.; SECCO, R.; CAVALCANTI, T. B. & SOUZA, V. C. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 19 de novembro 2013.

GIRARDIN, C. A. J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; HUASCO, W. H.; METCALFE, D. B.; DURAND, L.; MAMANI, M.; SILVA-ESPEJO, J. E.; WHITTAKER, R. J. Fine root dynamics along an elevational gradient in tropical Amazonian and Andean forests, **Global Biogeochemical Cycles**, v.27, p.252–264, 2013.

GOMES, N. A. Mudanças climáticas: Impactos Ambientais nos recursos hídricos da Amazônia, decorrentes de seus usos múltiplos. In: BUEANAFUENTE, S. M.F. (Org.) **Amazônia – Dinâmica do Carbono e impactos socioeconômicos e ambientais**. Boa Vista: Editora UFRR, 2010. p.105-126.

GRACE, J.; SAN JOSE, J.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v.33, p.387-400, 2006.

HAO, Y.; PENG, S.; WU, J. Roots of pioneer trees in the lower sub-tropical area of Dinghushan, Guangdong, China. **Journal of Zhejiang University Science B**, v.7, n.5, p.377-385, 2006.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, n.1, p.54-64, 2000.

HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: NOVAES-PINTO, M. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990. p.309-330.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P. DA; ROCHA, R. DE M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, v.34, n.3, p.295-304, 2004.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n.2, p. 153-166, 1998.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. **Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology**, v.55, n.2, p.378-390, 2003.

HUI, D.; WANG, J.; SHEN, W.; LE, X.; GANTER P.; REN, H. Near isometric biomass partitioning in forest ecosystems of China. **PLoS ONE**, v.9, n.1, p.1-13, 2014.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **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, Rio de Janeiro, 2012. 275p.

IPCC (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA). **Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Valencia, Spain, 2007b. 73p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf>. Acesso em: 15 de setembro de 2012.

IPCC (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA). **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 Agriculture, forestry**

and other land use. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em: 09 de maio de 2012.

IPCC (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA). **Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima - Contribuição do Grupo de Trabalho III ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima.** Bancoc, Tailândia, 2007a. 42p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg3-spm.pdf>>. Acessado em: 10 de outubro de 2012.

JACKSON, R.; MOONEY, H.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.94, p.7362-7366, 1997.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis.** London: Belhaven Press, 1992. 363 p.

KENZO, T.; ICHIE, T.; HATTORI, D.; KENDAWANG, J. J.; SAKURAI, K.; NINOMIYA, I. Changes in above- and belowground biomass in early successional tropical secondary forests after shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.875-882, 2010.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v.1, n.1, p.147-155, 2005.

KONÔPKA, B.; PAJTÍK, J.; SEBEN, V.; LUKAC, M. Belowground biomass functions and expansion factors in high elevation Norway spruce. **Forestry**, v.84, n.1, p.41-48, 2011.

KRUG, T. O papel das atividades de projeto de florestamento e reflorestamento no mecanismo de desenvolvimento limpo na fixação de CO₂ atmosférico. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas.** Curitiba, Brasil, 2004. p.55-62.

KUYAH, S.; DIETZ, J.; MUTHURI, C.; JAMNADASS, R.; MWANGI, P.; COE, R.; NEUFELDT, H. Allometric equations for estimating biomass in agricultural landscapes: II. Belowground biomass. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.158, p.225-234, 2012.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v.123, p.1-22, 2004.

LEVILLAIN, J.; M'BOU A. T.; DELEPORTE, P.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOURDAN, C. Is the simple auger coring method reliable for belowground standing biomass estimation in Eucalyptus forest plantations? **Annals of Botany**, v.108, p.221-230, 2011.

LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, M. C.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. **Acta Amazônica**, v.37, n.1, p.49-54, 2007a.

LIMA, J. A. S.; VILLELA, D. M.; PÉREZ, D. V.; CALDERANO FILHO, B.; NASCIMENTO, M. T. Avaliação da biomassa radicular fina em fragmentos florestais da

Planície Costeira Fluminense. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, s.1, p.450-452, 2007b.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, n.17, p. 38-43, 2000.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v.28, n.2, p. 329-334, 2005.

MARTINELLI, L. A.; CAMARGO, P. B. O monitoramento do carbono em áreas florestadas. CENA/USP. **Série técnica IPEF**, v.10, n.29, p.6-10, 1996.

MARTÍNEZ, J. A.; FERNÁNDEZ, F. D. Caracterización y distribución vertical de la fitomasa de raíces del bosque semidecíduo en la Reserva de la Biosfera Península de Guanahacabibes, Cuba. **Revista Forestal Baracoa**, v.25, n.1, p.87-96, 2006.

MARTINS, C. R.; PEREIRA, P. A. P.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n.5, p.28-41, 2003.

MCT (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA) (Trad.) **Protocolo e Kyoto**. Brasília: MCT, 2005. 29p.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, v.71, p.149-154, 2006.

MENDONÇA, A. V. R.; SOUZA, J. S.; GIULIETTI, A. M.; BERG, C. V. D. Estimativa de biomassa aérea de espécies da caatinga no norte da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.76, p.355-368, 2013.

MENDONÇA, R. C.; FEFILII, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JUNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do Bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Volume 2. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2008. p.421-442.

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, v.20, n.3, p.439-452, 2010.

MIRANDA, S. C. **Variação espacial e temporal da biomassa vegetal em áreas de Cerrado**. 2012. 142p. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA, G. A. B. da. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. México City: CEMEX. 2005. 392p.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação**. Brasília: MMA, 2007. 540p. (Série Biodiversidade 17)

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite - Monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010**. Brasília. 2011. 65p. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL_CERRADO_2010.pdf>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2013.

MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v.12, p.84-96, 2006.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and Methods of Vegetation Ecology**. Wiley, New York. 1974. 547p.

NIYAMA, K.; KAJIMOTO, T.; MATSUURA, Y.; YAMASHITA, T.; MATSUO, N.; YASHIRO, Y.; RIPIN, A.; KASSIM, A. R.; NOOR, N. S. Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Ecology**, n.26, p.271-284, 2010.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, n.45, p.81-90, 2002.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.1853-1867, 2008.

ODUM, E. P. **Ecologia**. 2 ed. São Paulo, Pioneira, 1986. 434p.

OHSE, S.; DERNER, R. B.; OZÓRIO, R. A.; CUNHA, P. C. R.; LAMARCA, C. P.; DOS SANTOS, M. E.; MENDES, L. B. B. Revisão: Sequestro de Carbono Realizado Por Microalgas e Florestas e a Capacidade de Produção de Lipídios Pelas Microalgas. **Insula**, n.36, p.39-74, 2007.

OLIVEIRA, M. J.; VECCHIA, F. A controvérsia das mudanças climáticas e do aquecimento global antropogênico: consenso científico ou interesse político? In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 5. **Anais**. Tupã: ANAP, 2009. p.946-962.

OLIVEIRA; R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savannas of central Brazil. **Functional Ecology**, v.19, p.574-581, 2005.

OLIVERAS, I.; MEIRELLES, S. T.; HIRAKURI, V. L.; FREITAS, C. R.; HELOISA S. MIRANDA, H. S.; PIVELLO, V. R. Effects of fire regimes on herbaceous biomass and nutrient dynamics in the Brazilian savanna. **International Journal of Wildland Fire**, v.22, p.368-380, 2013.

OMM (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL). **Boletín sobre los gases de efecto invernadero - Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2011**. Nº 8. 2012. 4p. Disponível em: <

http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_Bulletin_No.8_es.pdf >. Acesso: 13 de fevereiro de 2013.

OTTO, R.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, p.601-611, 2009.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. C. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos avançados**, v.4, n.9, p.204-220, 1990.

PAIVA, A. O.; FARIA, G. E. Estoque de carbono do solo sob cerrado *sensu stricto* no Distrito Federal, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.1, n.1, p.59-65, 2007.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.527-538, 2011.

PAULA, M. D.; COSTA, C. P. A.; TABARELLI, M. Carbon storage in a fragmented landscape of Atlantic forest: the role played by edge-affected habitats and emergent trees. **Tropical Conservation Science**, v.4, n.3, p.349-358, 2011

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316p.

PING, X.; GUANGSHENG, Z.; QIANLAI, Z.; YUNLONG W.; WANQING, Z.; GUANGXU, S.; XIANGLEI, L.; YUHUI, W. Effects of sample size and position from monolith and core methods on the estimation of total root biomass in a temperate grassland ecosystem in Inner Mongolia, **Geoderma**, v.155, p.262-268, 2010.

POWERS, J. S.; PERÉZ-AVILES, D. Edaphic Factors are a More Important Control on Surface Fine Roots than Stand Age in Secondary Tropical Dry Forests. **Biotropica**, v.45, n.1, p.1-9, 2013.

PRETZSCH, H. **Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model**. Berlin: SPRINGER, 2009. 664p.

QUAN, X.; WANG, C.; ZHANG, Q.; WANG, X.; LUO, Y.; BOND-LAMBERTY, B. Dynamics of fine roots in five Chinese temperate forests. **Journal of Plant Research**, v.123, p.497-507, 2010.

QURESHI, A.; PARIVA; BADOLA, R.; HUSSAIN, S. A. A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. **Environmental Science & Policy**, v.16, p.81-89, 2012.

RAU, B. M.; JOHNSON, D. W.; CHAMBERS, J. C.; BLANK, R. R.; LUCCESI, A. Estimating root biomass and distribution after fire in a Great basin woodland using cores and pits. **Western North American Naturalist**, v.64, n.4, p.459-463, 2009.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. 2002.

243p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

REZENDE, A. V.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A. Efeito do desmatamento no estabelecimento de espécies lenhosas em um cerrado *sensu stricto*. **Floresta**, v.35, n.1, p.69-88, 2005.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v.71, p.65-76, 2006.

RIBEIRO S. C.; JACOVINE L. A. G.; SOARES C. P. B.; MARTINS S. V. M.; SOUZA A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.33, n.5, p.917-926, 2009.

RIBEIRO, J. R.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO; S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Embrapa - CPAC, Planaltina, 2008. p.151-199.

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; GASPAR, R. O. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.491-499, 2011.

RÍOS-CARRASCO, E.; NÁVAR-CHÁIDEZ, J. J. Root allometry of two subtropical plant communities of northeastern México. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.12, n.1, p.123-134, 2010.

ROCHA, C. C. C. **Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás**. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

RODIN, P. **Distribuição da biomassa subterrânea e dinâmica de raízes finas em ecossistemas nativos e em uma pastagem plantada no Cerrado do Brasil Central**. 2004. 88f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

RYAN, C. M.; WILLIAMS, M.; GRACE, J. Above- and Below-ground Carbon Stocks in a Miombo Woodland Landscape of Mozambique. **Biotropica**, v.43, n.4, p.423-432, 2011.

SAN JOSE, J. J.; MONTES, R. A.; FARINÃS, M. R. Carbon stocks and fluxes in a temporal scaling from a savanna to a semi-deciduous forest. **Forest Ecology and Management**, v.105, p.251-262, 1998.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba. Brasil. 2004. p.77-94.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; BALBINOT, R.; LEAL, M. C. B. S.; ZILLOTTO, M. A. B. Proposta metodológica para a quantificação e monitoramento do carbono

estocado em florestas plantadas. In: **Carbono: desenvolvimento tecnológico, aplicação e mercado global**. Curitiba, Brasil, 2006. p.240-265.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SAYER, E. J.; TANNER, E. V. J.; CHEESMAN, A. W. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. **Plant and Soil**, v.281, n.1-2, p.5-13, 2006.

SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; PEREIRA, R. M.; SOUZA, F. N.; GUEDES, I. C. L. Volumetria, peso de matéria seca e carbono. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. (Eds.). **Inventário Florestal de Minas Gerais: Cerrado - Florística, Estrutura, Diversidade, Similaridade, Distribuição Diamétrica e de Altura, Volumetria, Tendências de Crescimento e Áreas Aptas para Manejo Florestal**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 8, p. 361-438.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SELLE, G. L.; VUADEN, E.; MURARI, A. B.; HACK, C.; FARIAS, J. A.; THOMAS, R. Biomassa radicular, densidade do solo e análise química do solo de um povoamento de *Pinus* sp. **Ambiência**, v.6, n.1, p.61-74, 2010.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A. **Seqüestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: Estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 23p. (Documentos, 19).

SILVA, G. C.; SMAPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da Caatinga. **Revista Árvore**, v.32, n.3, p.567-575, 2008.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n.1, p.185-206, 2008.

SLIK, J. W. F.; PAOLI, G.; MCGUIRE, K.; AMARAL, I.; BARROSO, J.; BASTIAN, M.; BLANC, L.; BONGERS, F.; BOUNDJA, P.; CLARK, C.; COLLINS, M.; DAUBY, G.; DING, Y.; DOUCET, J.-L.; ELER, E.; FERREIRA, L.; FORSHED, O.; FREDRIKSSON, G.; GILLET, J.-F.; HARRIS, D.; LEAL, M.; LAUMONIER, Y.; MALHI, Y.; MANSOR, A.; MARTIN, E.; MIYAMOTO, K.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; NAGAMASU, H.; NILUS, R.; NURTJAHYA, E.; OLIVEIRA, Á.; ONRIZAL, O.; PARADA-GUTIERREZ, A.; PERMANA, A.; POORTER, L.; POULSEN, J.; RAMIREZ-ANGULO, H.; REITSMA, J.; ROVERO, F.; ROZAK, A.; SHEIL, D.; SILVA-ESPEJO, J.; SILVEIRA, M.; SPIRONELO, W.; TER STEEGE, H.; STEVART, T.; NAVARRO-AGUILAR, G. E.; SUNDERLAND, T.; SUZUKI, E.; TANG, J.; THEILADE, I.; VAN DER HEIJDEN, G.; VAN VALKENBURG, J.; VAN DO, T.; VILANOVA, E.; VOS, V.; WICH, S.; WÖLL, H.; YONEDA, T.; ZANG, R.; ZHANG, M. G.; ZWEIFEL, N.; Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. **Global Ecology and Biogeography**, v.22, p.1261-1271, 2013.

SOARES, C. B. S.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV. 2011. 272p.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Bio- logical Research**. 3rd edition. W.H. Freeman, New York. Spath, H. 1995. 887p.

SOUZA, A. L.; BOINA, A.; SOARES, C. P. B.; VITAL, B. R.; GASPAR, R. O.; LANA, J. M. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**. v.36, n.1, p.169-179, 2012a.

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B.; SILVA, K. E.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, v.42, n.4, p.501-506. 2012b.

STAPE, J. L.; SOUZA, V. C.; TORRADO, P. V.; RODRIGUEZ, L. C. E. **Estimativas das taxas de sequestro de carbono na Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal**. Rio de Janeiro: SESC, Departamento Nacional, 2011. 144p. (Conhecendo o Pantanal, 8).

STATSOFT, INC. **Statistica (data analysis software system), version 7.0**. 2004.

TONIOLO J. C.; CARNEIRO C. D. R. Processos geológicos de fixação do carbono na terra e aquecimento global. **Terra e Didática**, v.6, n.1, p.31-56, 2010.

VIEIRA, S. A.; AIDAR, M.; BAKER, T. R.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B. C.; HIGUCHI, N.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A.; PHILLIPS, O. L.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v.8, p.21-29, 2008.

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

WANG, X.; FANG, J.; ZHU, B. Forest biomass and root–shoot allocation in northeast China. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.4007-4020, 2008.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R. CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba. Brasil. 2004. p.95-110.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, v.40, n.95, p.353-362, 2012.

YANG, L.; WU, S.; ZHANG, L. Fine root biomass dynamics and carbon storage along a successional gradient in Changbai Mountains, China. **Forestry**, v.83, n.4, p.379-387, 2010.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5th Edition. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. 2010. 944p.

APÊNDICES

A – Vegetação de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.



B – Aplicação dos diferentes tratamentos envolvendo métodos de amostragem da biomassa de raízes em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.



C – Aplicação dos diferentes tratamentos envolvendo métodos de amostragem da biomassa de raízes em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.



D – Separação das raízes do solo durante a amostragem da biomassa de raízes em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.



E – Ferramentas utilizadas para a amostragem da biomassa de raízes em área de cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), em Brasília, DF.

