

## VARIAÇÕES NOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO NA FLORESTA AMAZÔNICA ORIENTAL, SOB CONDIÇÃO NATURAL, ESTRESSE HÍDRICO E EM SISTEMAS DE MANEJO

Variations in soil microbiological attributes in the eastern Amazon forest, under natural conditions, water stress and in management systems

Variaciones en los atributos microbiológicos del suelo en el bosque amazónico oriental, bajo condición natural, estrés de agua y en sistemas de manejo

Possidônio Guimarães Rodrigues  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
[possirodrigues@yahoo.com.br](mailto:possirodrigues@yahoo.com.br)

Hernani José Brazão Rodrigues  
Universidade Federal do Pará  
[hernani@ufpa.br](mailto:hernani@ufpa.br)

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo  
Universidade Federal da Rural da Amazônia  
[riuvo@museu-goeldi.br](mailto:riuvo@museu-goeldi.br)

Dênis José Cardoso Gomes  
Universidade do Estado do Pará  
[deniss.feg@gmail.com](mailto:deniss.feg@gmail.com)

Antônio Carlos Lôla da Costa  
Universidade Federal do Pará  
[lola@ufpa.br](mailto:lola@ufpa.br)

### Resumo

Este estudo teve o propósito de avaliar a influência do estresse hídrico provocado em experimento de seca de longa duração na floresta (ESECAFLOR) e da conversão da floresta em área agrícola, sobre os atributos microbiológicos do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã. Foram escolhidas quatro áreas, sendo duas do experimento de seca na floresta: controle (Parcela A) e exclusão de água da chuva (Parcela B); e mais duas: Floresta secundária (FS) e Roça. Avaliaram-se a umidade gravimétrica, os teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM), respiração basal (RB) e calcularam-se os quocientes metabólico ( $qCO_2$ ) e microbiano ( $qMIC$ ). As áreas apresentaram, em geral, maiores teores de CBM e NBM durante o período mais chuvoso. O solo da área FS apresentou maiores valores de umidade e maiores valores de CBM e NBM. A redução da umidade do solo na Parcela B afetou a biomassa microbiana principalmente no período mais chuvoso. A Parcela B apresentou elevados valores de RB e conseqüentemente  $qCO_2$ . Os indicadores microbiológicos foram sensíveis as alterações no ambiente edáfico proporcionadas pelo experimento de seca de longa duração na floresta e pela mudança na forma de uso da terra.

**Palavras-chave:** biomassa microbiana; floresta tropical; estresse hídrico.

## **Abstract**

This study aimed to evaluate the influence of water stress on long-term drought experiment in the forest (ESECAFLOR) and on the conversion of forest to agricultural area on soil microbiological attributes in the Caxiuanã National Forest. Four areas were selected, two of the drought experiment in the forest: control (Plot A) and exclusion of rainfall (Plot B); and two more: secondary forest (FS) and farm. Gravimetric humidity, carbon and nitrogen levels of microbial biomass (CBM and NBM), basal respiration (RB) were evaluated and the metabolic ( $qCO_2$ ) and microbial ( $qMIC$ ) ratios were calculated. The areas presented, in general, had higher levels of CBM and NBM during the rainy season. The soil of the FS area presented higher values of moisture and higher values of CBM and NBM. The reduction of soil moisture in Plot B affected the microbial biomass mainly during the rainy season. The Plot B presented high values of RB and consequently  $qCO_2$ . The microbiological indicators were sensitive to the changes in the edaphic environment provided by the long-term drought experiment in the forest and by the change in the form of land use.

**Keywords:** Microbial biomass; tropical forest; water stress.

## **Resumen**

Este estudio tiene como objetivo evaluar la influencia del estrés hídrico causado por un experimento de sequía a largo plazo en el bosque (ESECAFLOR) y la conversión del bosque en un área agrícola, sobre los atributos microbiológicos del suelo en el Bosque Nacional Caxiuanã. Se eligieron cuatro áreas, dos del experimento de sequía forestal: control (Parcela A) y exclusión del agua de lluvia (Parcela B); y dos más: bosque secundario (FS) y Roça. Se evaluaron los niveles de humedad gravimétrica, carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana (CBM y NBM), respiración basal (RB) y se calcularon las relaciones metabólicas ( $qCO_2$ ) y microbianas ( $qMIC$ ). Las áreas presentaron, en general, niveles más altos de CBM y NBM durante el período más lluvioso. El suelo en el área FS mostró valores más altos de humedad y valores más altos de CBM y NBM. La reducción de la humedad del suelo en la Parcela B afectó la biomasa microbiana principalmente en el período más lluvioso. El paquete B presentó valores RB altos y, en consecuencia,  $qCO_2$ . Los indicadores microbiológicos fueron sensibles a los cambios en el entorno edáfico provocados por el experimento de sequía a largo plazo en el bosque y por el cambio en la forma de uso de la tierra.

**Palabras clave:** biomasa microbiana; bosque tropical; estrés hídrico.

## **Introdução**

Os solos da floresta amazônica, apesar de apresentar elevada biodiversidade em seus ecossistemas e ampla cobertura vegetal, apresentam baixa fertilidade e a manutenção da vegetação depende da ciclagem de nutrientes da serapilheira (FEARNSIDE, 2005), processo este relacionado com a atividade biológica do solo. A rápida ciclagem de nutrientes em florestas tropicais se dá por meio de altas taxas de decomposição, permitidas pelas altas temperaturas e alta precipitação anual, que impulsionam a atividade biológica no solo e na liteira (LUIZÃO et al., 2009).

Os microrganismos do solo são responsáveis por inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, e agregação de partículas do solo (HUNGRIA et al., 2009; MENDES et al., 2012). Além disso, apresentam maior capacidade de mostrar respostas mais rápidas às mudanças ambientais do solo (KASCHUK et al., 2010). Melo et al. (2012) observaram que a conversão de floresta nativa na Amazônia oriental em pastagem alterou significativamente o funcionamento da microbiota do solo, com aumento das emissões de CO<sub>2</sub> (distúrbio metabólico), porém com os valores foram se estabilizando com o aumento da idade do pasto. Ao comparar os atributos microbiológicos do solo sob diferentes tipos de uso, Matoso et al. (2012) demonstraram que a mudança da floresta para áreas cultivadas modifica a quantidade e qualidade da biomassa microbiana, e que os sistemas agrícolas não conseguiram se igualar a floresta nativa quanto a eficiência na imobilização do carbono na biomassa microbiana do solo.

Variações na biomassa microbiana do solo ao longo do tempo estão intimamente associadas com alterações da disponibilidade de água no solo (PATEL et al., 2010). Os efeitos da umidade do solo sobre os microrganismos e processos microbianos são atualmente um assunto de interesse devido ao fato de que a maioria dos cenários para a mudança climática global inclui mudanças na precipitação (BALDRIAN et al., 2010). A avaliação de atributos microbiológicos em uma floresta secundária na Amazônia oriental envolvendo a manipulação de disponibilidade de água no solo foi realizada por Rangel-Vasconcelos et al. (2015). Os autores não encontraram diferenças no carbono, nitrogênio e atividade microbiana em relação à sazonalidade, mas observaram diferença na composição microbiana com respostas distintas para cada período sazonal.

Em Caxiuanã, as interações entre o microclima e as populações microbianas do solo de floresta nativa sob condições naturais e sob estresse hídrico foram investigadas por Rodrigues et al. (2013). Os autores destacaram um padrão diferenciado para a proporção entre fungos e bactérias de acordo com a disponibilidade de água no solo. Em experimento de curta duração (seis meses) simulando a seca em floresta tropical na Costa Rica, Waring e Hawkes (2015) constataram que ocorreu mudança significativa nos padrões funcionais e estruturais da biomassa microbiana do solo e concluíram que a comunidade microbiana perde a eficiência na utilização do carbono quando resubmetida às condições normais de umidade.

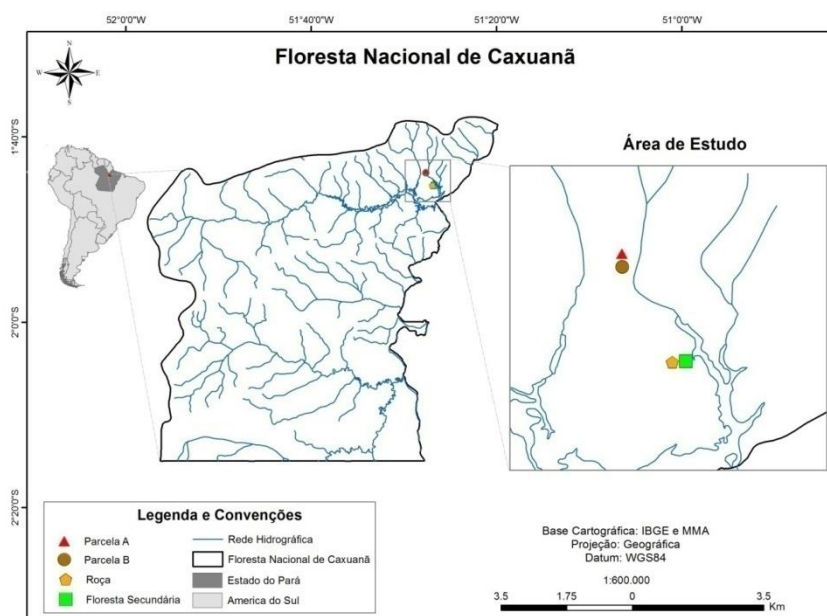
No presente estudo, busca-se o entendimento da variação sazonal da biomassa e atividade microbiana do solo em experimento de simulação de seca prolongada (14 anos) na floresta amazônica e também em áreas que sofreram mudanças no uso da terra (conversão da floresta primária em floresta sucessional e cultivo agrícola). O objetivo foi avaliar a influência

do estresse hídrico do solo induzido em experimento de longa duração na floresta e da conversão da floresta em área agrícola sobre os atributos microbiológicos do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã.

## 2. Material e métodos

### 2.1 - Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã (Figura 1), localizada nos municípios de Melgaço e Portel, Mesorregião Marajó, estado do Pará, distante aproximadamente 350 km da capital Belém. Trata-se de uma floresta ombrófila de terra firme considerada como Reserva (Unidade de Conservação – Lei 9.985-00) desde a década de 1970, e possui ampla extensão de área (320.000 ha).



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo, Caxiuanã, Pará.

Fonte: Autores (2017).

O clima da região é do tipo Am, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual do ar de 25,7°C, e pluviosidade média anual de 2.272 mm (SILVA JUNIOR et al., 2013). A sazonalidade é bem definida com dois períodos distintos, um correspondendo ao período menos chuvoso (entre agosto e novembro) e outro ao período mais chuvoso (entre dezembro e maio).

O presente estudo foi desenvolvido na porção norte da FLONA em quatro locais (correspondentes aos sistemas avaliados), dois localizados nas parcelas experimentais (Parcela A e Parcela B) do Projeto ESECAFLOR (O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica) e mais dois localizados

10.18227/2177-4307.acta.v16i42.6464

na (Roça e Floresta secundária). Ressalta-se que o Projeto ESECAFLORE é um dos sub-projetos do Experimento em Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA).

As duas áreas referentes às parcelas do experimento ESECAFLORE foram instaladas em janeiro de 2002. O experimento foi criado com a intenção de simular um período de seca prolongada na floresta e avaliar as alterações provocadas pela redução da umidade do solo no ciclo da floresta. Em sua estrutura física o ESECAFLORE é composto por duas parcelas (A e B) de 1 ha de área cada, sendo uma adjacente a outra (distância de 50 m). A parcela controle denominada Parcela A é a referência para a simulação de seca que ocorre na parcela exclusão, denominada Parcela B. Na Parcela B está sendo realizada a exclusão de aproximadamente 50% da água da chuva, desde a instalação do experimento, com a utilização de painéis plásticos instalados a 1-2 metros de altura da superfície do solo (MEIR et al., 2009; COSTA et al., 2013). O limite da Parcela B foi trincheirado até 1 m de profundidade e forrado com plástico para minimizar a entrada ou saída lateral de água na Parcela. O perímetro da Parcela A adjacente também foi trincheirado para evitar confusão nos efeitos do tratamento (COSTA et al., 2013). A avaliação descrita nesse trabalho ocorreu em 2017, ou seja, 15 anos após o início do experimento.

As duas áreas são de uso agrícola familiar de subsistência e ficam a aproximadamente 8 km de distância das parcelas do ESECAFLORE. A área de plantio (0,5 ha) é baseada na agricultura tradicional de corte e queima, onde o agricultor prepara a área durante o período menos chuvoso e cultiva-o durante o ano inteiro. Esse ciclo continua por 5 anos agrícolas na mesma área. Após esse período se inicia o ciclo de pousio (vegetação espontânea) na área e outro local adjacente é utilizado para se iniciar um novo ciclo de cultivo, caracterizando uma espécie de rotação (agricultura itinerante). No ano de avaliação (2017) essa área de roça encontrava-se no terceiro ano de cultivo, ou seja, possuía dois anos de cultivos anteriores. E antes deste atual ciclo de cultivo tinha passado por dois ciclos pousio de oito anos cada, mais dois ciclos de cultivo de cinco anos cada, totalizando 30 anos de uso.

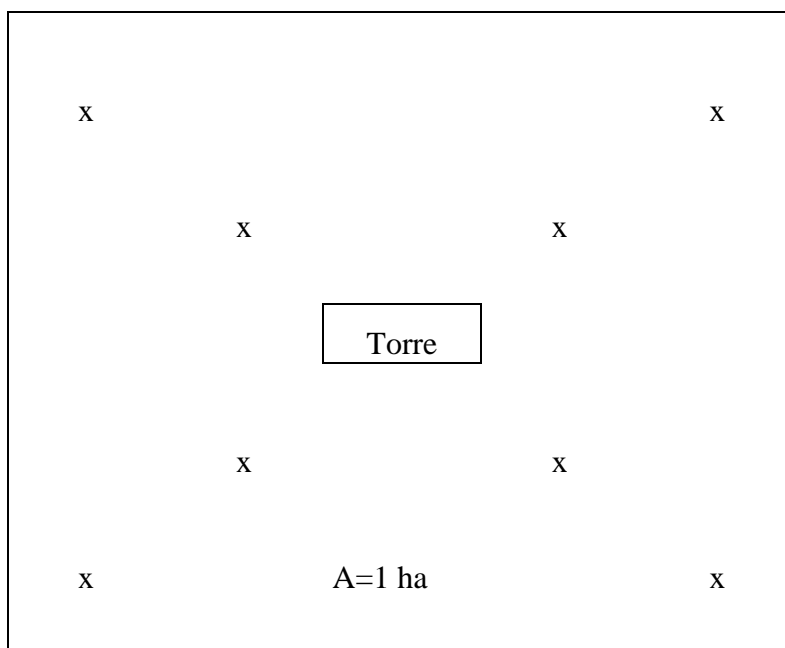
A floresta secundária (FS) escolhida ficava a 500 metros da área de roça, possuía 16 anos no momento da avaliação. Anteriormente havia passado por três ciclos de cultivo de cinco anos cada. Esta área passou por mais tempo em pousio devido aos três ciclos de cultivos anteriores, intercalados por dois ciclos de pousio, totalizando mais de 40 anos de uso.

O solo das parcelas A e B áreas foi classificado como Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa (RUIVO; CUNHA, 2003). Já nas áreas Roça e FS o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilo-arenosa.

## 2.2 - Amostragem do Solo

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois fatores: áreas (Parcela A, Parcela B, Roça e FS) e três períodos sazonais (mais chuvoso, transição e menos chuvoso), com oito repetições. A amostragem do solo ocorreu no ano de 2017 em três períodos sazonais distintos, sendo um em março, caracterizado como período mais chuvoso; em julho, caracterizado como período de transição; e em novembro caracterizado como período menos chuvoso.

Foram realizadas coletas de amostras simples de solo em oito pontos em cada área (Parcelas A e B, Roça e FS), com uso de trado holandês nas profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, para caracterização química, granulométrica e microbiológica do solo. Tomou-se como referência a torre meteorológica no centro de cada parcela do experimento ESECAFLOR e dividiu-se a área em quatro quadrantes, sendo efetuadas duas coletas em cada quadrante (Figura 2). Nas áreas de Roça e FS procedeu-se da mesma maneira, tomando o centro da área como referência e marcando os pontos com piquetes.



**Figura 2.** Esquema de amostragem do solo para análises químicas e microbiológicas do solo. Fonte: Autores (2017).

As amostras foram conduzidas até o Laboratório de Análises Químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi e Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia para determinação dos atributos microbiológicos do solo. Para procedimento analítico realizou-se o peneiramento das amostras de solo em malha 2,0 mm. Todas as análises foram realizadas com amostras aclimatadas à temperatura ambiente.

## **2.3 - Análises do Solo**

### **2.3.1 - Umidade do Solo**

A umidade do solo foi determinada por gravimetria. Para cada amostra coletada em campo foi determinada a umidade pesando-se o material úmido, e o material seco em estufa após 24 h (~105°C), conforme a seguinte fórmula:

$$\Theta = m_u - m_s / m_s * 100$$

onde  $m_u$  é a massa de solo úmido,  $m_s$  é a massa de solo seco.

### **2.3.2 - Análises Químicas do Solo**

A caracterização química do solo foi determinada conforme metodologia recomendada pela Embrapa (Embrapa, 1997). O pH em água (1:2,5) foi determinado por potenciometria direta; extraíram-se os cátions trocáveis em cloreto de potássio (KCl) 1 N, sendo quantificados por espectrometria de absorção atômica ( $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ) e fotometria de chama ( $K^+$ ); a acidez trocável ( $Al^{3+}$ ), foi extraída com KCl e quantificada por titulometria com NaOH; o fósforo disponível (P) foi extraído com solução duplo ácido Mehlich 1 e determinado por colorimetria; o carbono orgânico total (COT) foi extraído por oxidação via úmida com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ); e o nitrogênio total (N) por destilação a vapor Kjeldahl.

### **2.3.3 - Análises Granulométricas**

Para analisar a textura do solo utilizou-se o método da pipeta, que baseia-se no princípio da velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico.

Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila. Em seguida as frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais, o silte corresponde à fração intermediária entre a areia total e argila (EMBRAPA, 1997).

### **2.3.4 - Análises microbiológicas do solo**

#### **2.3.4.1 - Carbono e Nitrogênio da Biomassa microbiana (CBM e NBM)**

O carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana foram determinados pelo método irradiação-extração, utilizando o forno microondas modelo Panasonic com potência igual a

800 W e frequência de 2.450 MHz, conforme descrito por Islam e Weil (1998) e por Ferreira et al. (1999).

O tempo de exposição para atingir  $800 \text{ J g}^{-1}$  (energia necessária para lise celular) durante a irradiação das amostras foi calculado pela seguinte fórmula:

$$t = r \cdot m_t / P$$

onde t: é o tempo de exposição das amostras ao micro-ondas; P é a potência real do aparelho em W; r é igual a  $800 \text{ J g}^{-1}$ ; e  $m_t$ : massa total das amostras no momento da irradiação. O extrator utilizado foi o sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ )  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  tanto para o CBM quanto para o NBM. Todas as extrações foram realizadas em duplicatas. O C contido nos extratos foi quantificado por meio de oxidação via úmida (YEOMANS E BREMNER, 1988) sem aquecimento externo. O fator de conversão ( $K_C$ ) usado para converter o fluxo de C para CBM foi de 0,33 (SPARLING e WEST, 1988). Os teores de CBM foram expressos em  $\mu\text{g g}^{-1}$  com base na massa de solo seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , por 24 h.

## **2.4 - Respiração basal (RB)**

A respiração basal (RB) foi determinada pela captura do C-CO<sub>2</sub> liberado durante o processo de respiração microbiana por um período de dez dias de incubação de amostras de solo com 30 g de massa, na presença de hidróxido de sódio (NaOH) (Jenkinson; Powlson, 1976). As análises foram realizadas em duplicata. A quantificação ocorreu por meio da titulação do extrato com ácido clorídrico (HCl) na presença de cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ). Os resultados da RB do solo foram expressos em  $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ C-CO}_2$ .

### **2.4.1 - Quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ )**

O quociente metabólico do solo ( $q\text{CO}_2$ ) foi calculado pela razão entre a RB do solo e o CBM (Anderson; Domsch, 1989). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

### **2.4.2 - Quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ )**

O quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) foi calculado pela razão entre o teor de CBM e o teor de COT e o resultado expresso em percentual.

## **2.5 - Análises estatísticas**

Os dados dos atributos microbiológicos do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com dois fatores [área (4) e período sazonal (3)] ( $n=8$ ), sendo as variáveis com efeito significativo submetidas ao teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

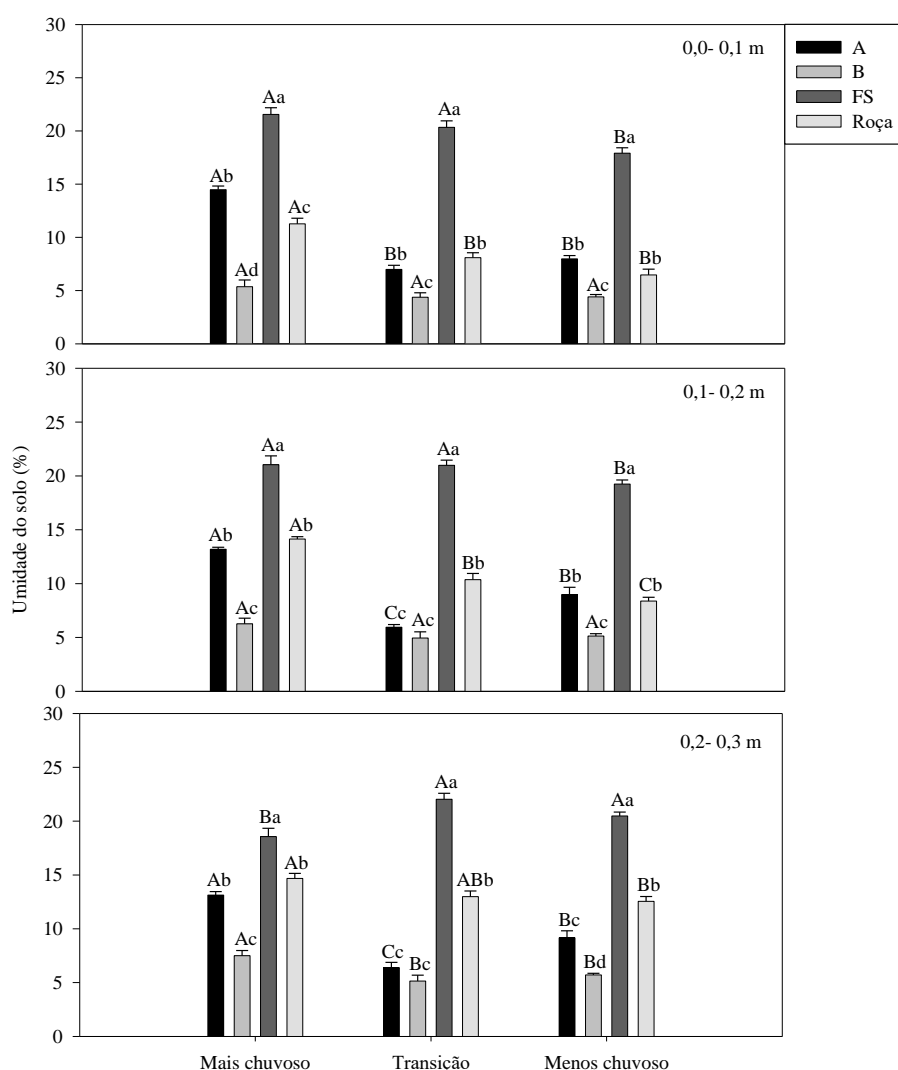


As variâncias homogêneas e a distribuição normal dos dados foram consideradas para análise. As variáveis que não atenderam aos pressupostos da ANOVA foram transformadas (log ou raiz quadrada).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 - Umidade do solo

Os dados de umidade do solo são mostrados na Figura 03. Constatou-se efeito significativo para os fatores (área e período) em todas as camadas avaliadas. Os valores de umidade foram maiores no período mais chuvoso em relação ao período menos chuvoso em todas as áreas, exceto na Parcela B (camadas 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m) e FS (camada 0,2-0,3 m).



**Figura 03.** Umidade gravimétrica do solo nas áreas Parcela A, Parcela B, Floresta secundária (FS) e Roça em março/2016 (mais chuvoso), julho/2016 (transição) e novembro/2016 (menos chuvoso) em Caxiuanã, Pará. Letras maiúsculas comparam as áreas, no mesmo período; letras minúsculas comparam os períodos de coleta, em cada área (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).  
Fonte: Autores (2017).

A área Fs apresentou os maiores valores de umidade em todas as camadas e em todos os períodos avaliados, isto se deve aos maiores teores de argila nesta área. O predomínio de minerais argilosos na FS também configurou menor variação entre os períodos sazonais nesta área em relação às demais. Durante o período mais chuvoso e o período menos chuvoso a Parcela A apresentou maiores valores de umidade do solo em relação à Parcela B em todas as camadas. Essa relação no período de transição só foi observada na camada 0,0-0,1 m. A área de Roça teve valores de umidade semelhante aos resultados obtidos para a Parcela A. Porém apresentou maiores valores durante o período de transição (0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m) e período menos chuvoso (0,2-0,3 m).

### **3.2 - Atributos microbiológicos do solo:**

#### **3.2.1 - Carbono da Biomassa microbiana**

Os resultados do CBM variaram de 82,21  $\mu\text{g g}^{-1}$  a 571,86  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Figura 4), com o valor inferior relativo à camada 0,2-0,3 m na Parcela A durante o período menos chuvoso e valor superior na camada 0,0-0,1 m na FS durante o período mais chuvoso. O padrão distribuição dos teores de CBM ao longo das três camadas foi semelhante para ambas as áreas, com redução dos valores das camadas mais superficiais para as camadas subsuperficiais, e também do período mais chuvoso para o período menos chuvoso, tanto que não houve efeito significativo entre os períodos apenas na camada 0,0-0,1 m na FS. O maior teor de CBM em todas as áreas durante o período mais chuvoso é reflexo direto da disponibilidade de água no solo sobre a população microbiana. Na camada 0,0-0,1 m os teores de CBM foram maiores na FS, exceto no período de transição, onde não houve diferença entre FS e Parcela A. A FS é a única das quatro áreas que apresenta teor de argila superior a 30% nas três camadas avaliadas (320; 380 e 410  $\text{g kg}^{-1}$  para 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m respectivamente). O contínuo aporte de resíduos orgânicos provenientes da vegetação, tanto na FS como na Parcela A, justificam os maiores resultados de CBM nessas áreas no período de transição.

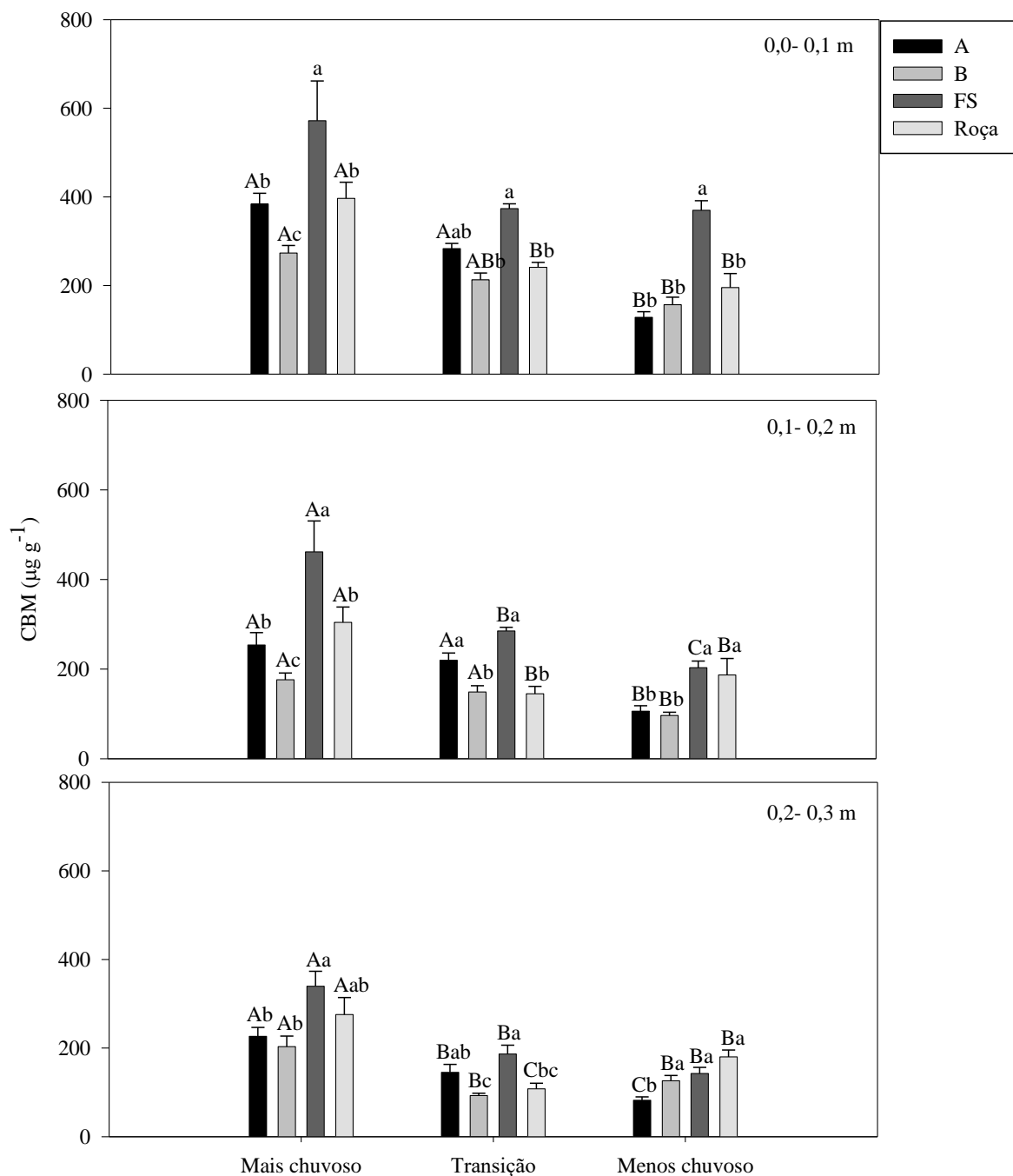
Durante o período mais chuvoso, os teores de CBM foram menores na Parcela B em relação às demais áreas nas camadas 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m. Já na camada 0,2-0,3 m a Parcela B teve teor de CBM igual aos teores obtidos na Parcela A e na Roça. Já no período de transição os teores de CBM foram iguais entre as áreas FS e Parcela A em todas as camadas, porém diferenças foram constatadas entre a FS e as áreas Parcela B e Roça. No período menos

chuvoso não houve diferença para o teor de CBM entre Roça, FS e Parcela B na camada 0,2-0,3 m.

### **3.2.2 - Nitrogênio da Biomassa microbiana**

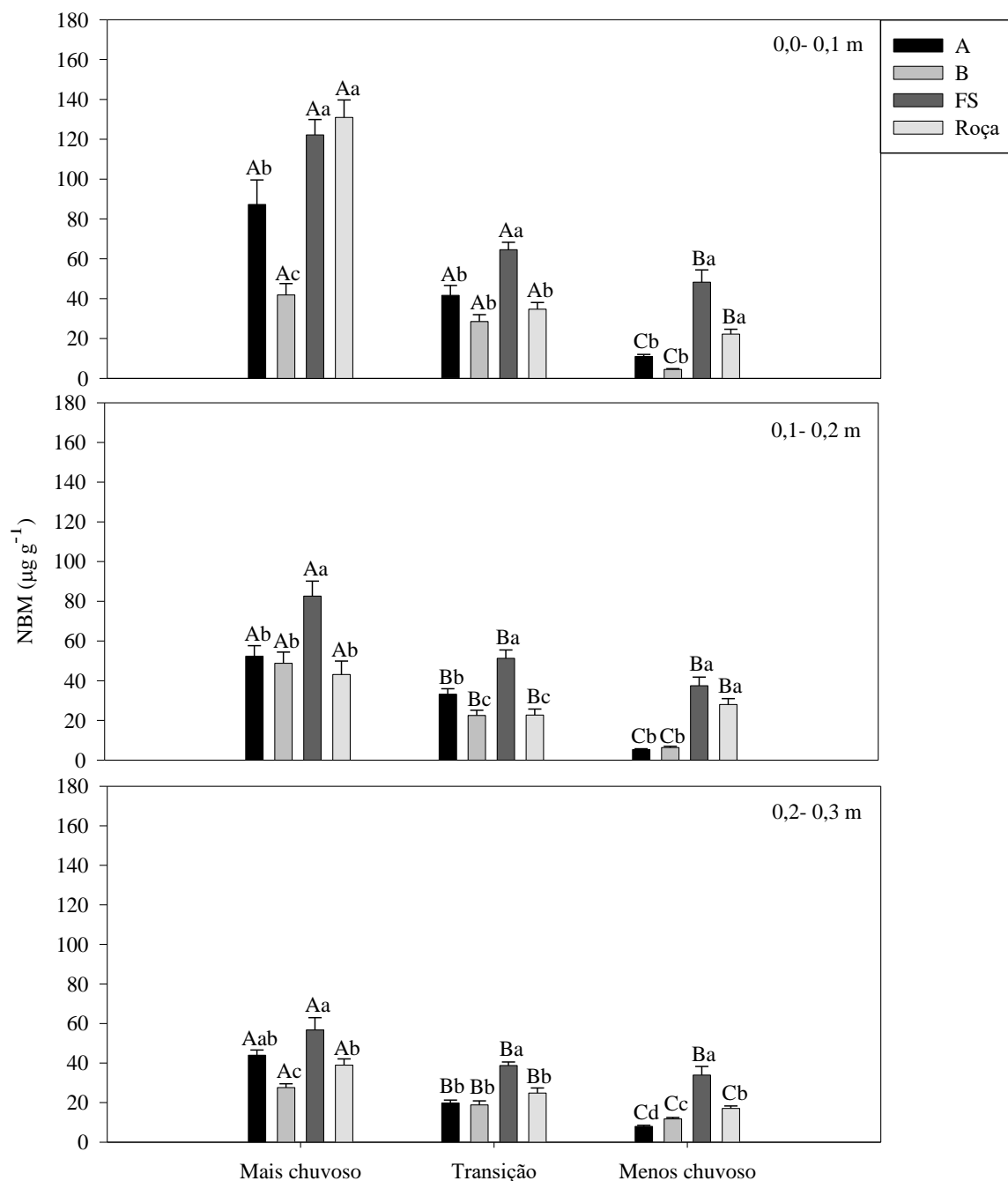
Os teores de NBM variaram de  $4,51 \mu\text{g g}^{-1}$  a  $130,95 \mu\text{g g}^{-1}$  (Figura 5), com o valor inferior relativo à camada 0,1-0,2 m na Parcela B durante o período menos chuvoso e valor superior na camada 0,0-0,1 m na Roça durante o período mais chuvoso. Os teores de NBM foram maiores no período mais chuvoso em todas as áreas, exceto na camada 0,0-0,1 m da Parcela B, onde não houve diferença para o período de transição. Em relação ao período seco, tanto Parcela A quanto Parcela B apresentaram teores de NBM inferiores aos demais períodos em todas as camadas avaliadas. O maior teor de NBM na FS durante o período mais chuvoso também é mais uma evidência da forte relação entre disponibilidade hídrica e manutenção da BMS, tanto que a Parcela A se distingue da Parcela B nas camadas 0,0-0,1 m e 0,2-0,3 m. A elevada disponibilidade de NBM na Roça (0,0-0,1 m) é resultado combinado da mineralização de parte da matéria orgânica durante a queima no período menos chuvoso e o incremento de C e N pelas culturas implantadas durante a estação mais chuvosa. O solo exposto da Roça ao longo do ano faz com que ocorra aumento da mineralização da MOS, com transformação do N imobilizado na biomassa microbiana em formas minerais. Assim, ocorre a redução do NBM, com equiparação dos teores entre Roça e Parcelas A e B no período de transição.

A FS se destacou das demais áreas em ambos os períodos de avaliação, com maiores teores de NBM nas camadas 0,0-0,1 m e 0,2-0,3 m (Transição e Menos Chuvoso), na camada 0,1-0,2 m (Mais chuvoso e Transição). Durante o período mais chuvoso, os teores de NBM foram menores na Parcela B tanto na camada 0,0-0,1 m como na 0,2-0,3 m. Já no período de transição, a Parcela B teve teor de NBM igual ao teor obtido na Roça e na Parcela A. E no período menos chuvoso, enquanto que na camada 0,0-0,1 m o teor de NBM é maior na Parcela A em relação à Parcela B, na camada 0,2-0,3 essa situação se inverte, com maior teor de NBM na Parcela B.



**Figura 4.** Carbono da biomassa microbiana do solo nas áreas Parcela A, Parcela B, Floresta secundária (FS) e Roça em março/2016 (mais chuvoso), julho/2016 (transição) e novembro/2016 (menos chuvoso) em Caxiuanã, Pará. Letras maiúsculas comparam as áreas, no mesmo período; letras minúsculas comparam os períodos de coleta, em cada área (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

Fonte: Autores (2017).



**Figura 5.** Nitrogênio da biomassa microbiana do solo nas áreas Parcela A, Parcela B, Floresta secundária (FS) e Roça em março/2016 (mais chuvoso), julho/2016 (transição) e novembro/2016 (menos chuvoso) em Caxiuanã, Pará. Letras maiúsculas comparam as áreas, no mesmo período; letras minúsculas comparam os períodos de coleta, em cada área (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

Fonte: Autores (2017).

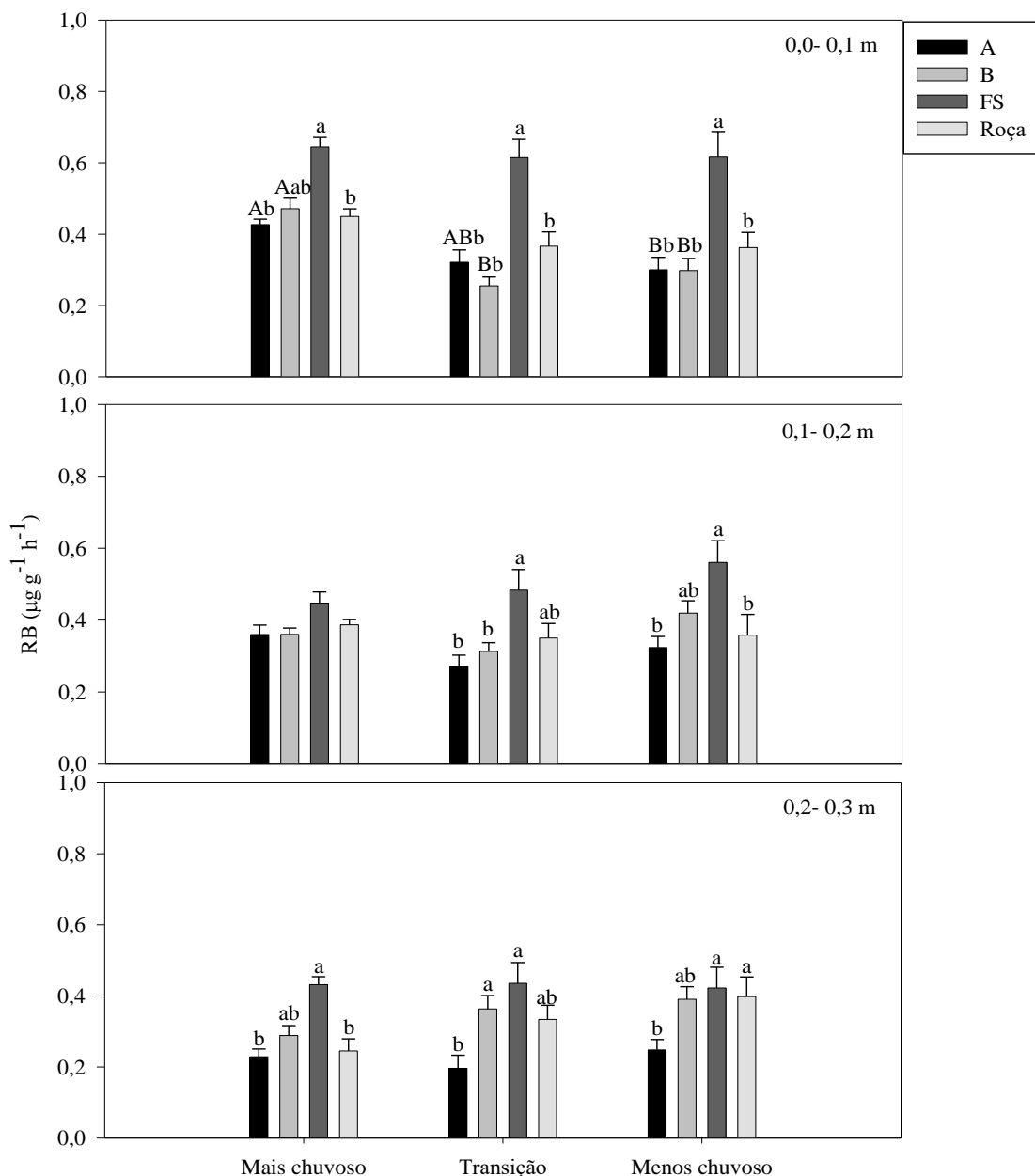
### 3.3 - Respiração Basal

Os valores de RB variaram entre  $0,20 \mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ C-CO}_2$  (Parcela A, Transição, 0,2-0,3 m) e  $0,64 \mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ C-CO}_2$  (FS, Mais chuvoso, 0,0-0,1 m) (Figura 6). Apenas na camada mais superficial houve efeito do período de coleta, sendo os valores de RB das Parcelas A e B

maiores no período mais chuvoso em relação ao período menos chuvoso. Na Parcela B, o valor de RB do período chuvoso também foi maior do que o valor obtido no período de transição.

Os valores de RB do solo obtidos situam-se próximos aos observados por autores que avaliaram solos do ecossistema amazônico, como Moreira e Malavolta (2004),  $0,13 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  C-CO<sub>2</sub>; Melo et al. (2012),  $0,8 - 1,1 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  C-CO<sub>2</sub>; Silva et al. (2012)  $0,42 - 1,12 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  C-CO<sub>2</sub>. O efeito observado nas Parcelas A e B para sazonalidade na camada 0,0-0,1 m demonstra que essa variável é uma boa indicadora de qualidade nessas áreas submetidas a experimento de longa duração. Os maiores valores de RB no período mais chuvoso, tanto na Parcela A como na Parcela B indica maior atividade biológica durante esse período. A redução da atividade microbiana durante o período menos chuvoso é devido à morte de parte dos microrganismos (redução da BMS) e a redução do metabolismo nos microrganismos remanescentes (MARSCHNER et al., 2002). A maior capacidade para reter água e nutrientes na área FS resultou em elevada atividade microbiana do solo, independentemente dos períodos sazonais e camadas avaliadas.

Durante o período mais chuvoso, observaram-se diferenças significativas nas camadas 0,0-0,1 m e 0,2-0,3 m, sendo os resultados semelhantes: maior valor de RB na FS e menor valor na Parcela A e Roça. A Parcela B apresentou mesmo valor de RB em relação a FS nessas duas camadas. No período de transição, somente na camada 0,0-0,1 m, a RB foi maior na FS. Na camada 0,2-0,3 m observaram-se maiores valores de RB tanto na FS como na Parcela B e Roça, situação semelhante à observada no período menos chuvoso.



**Figura 6.** Respiração basal do solo nas áreas Parcela A, Parcela B, Floresta secundária (FS) e Roça em março/2016 (mais chuvoso), julho/2016 (transição) e novembro/2016 (menos chuvoso) em Caxiuanã, Pará. Letras maiúsculas comparam as áreas, no mesmo período; letras minúsculas comparam os períodos de coleta, em cada área (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

Fonte: Autores (2017).

Os valores de  $q\text{CO}_2$  variaram entre  $1,10 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Roça, período mais chuvoso, 0,2-0,3 m) e  $4,51 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$  (Parcela B, período menos chuvoso, 0,1-0,2 m) (Figura 7). Na camada 0,0-0,1 m ocorreu efeito significativo apenas para o período, com diferenças na Parcela A, onde o período menos chuvoso apresentou maior  $q\text{CO}_2$  em relação aos demais períodos. Na camada 0,1-0,2 m o valor  $q\text{CO}_2$  foi maior no período menos chuvoso tanto na Parcela A como na Parcela B. Já as áreas FS e Roça não apresentaram diferenças em relação ao período de

transição. Na camada 0,2-0,3 m os valores de  $qCO_2$  obtidos no período menos chuvoso foram iguais aos obtidos na transição, exceto na Parcela A. Tanto camada 0,1-0,2 m como 0,2-0,3 m apresentaram menores valores de  $qCO_2$  no período mais chuvoso.

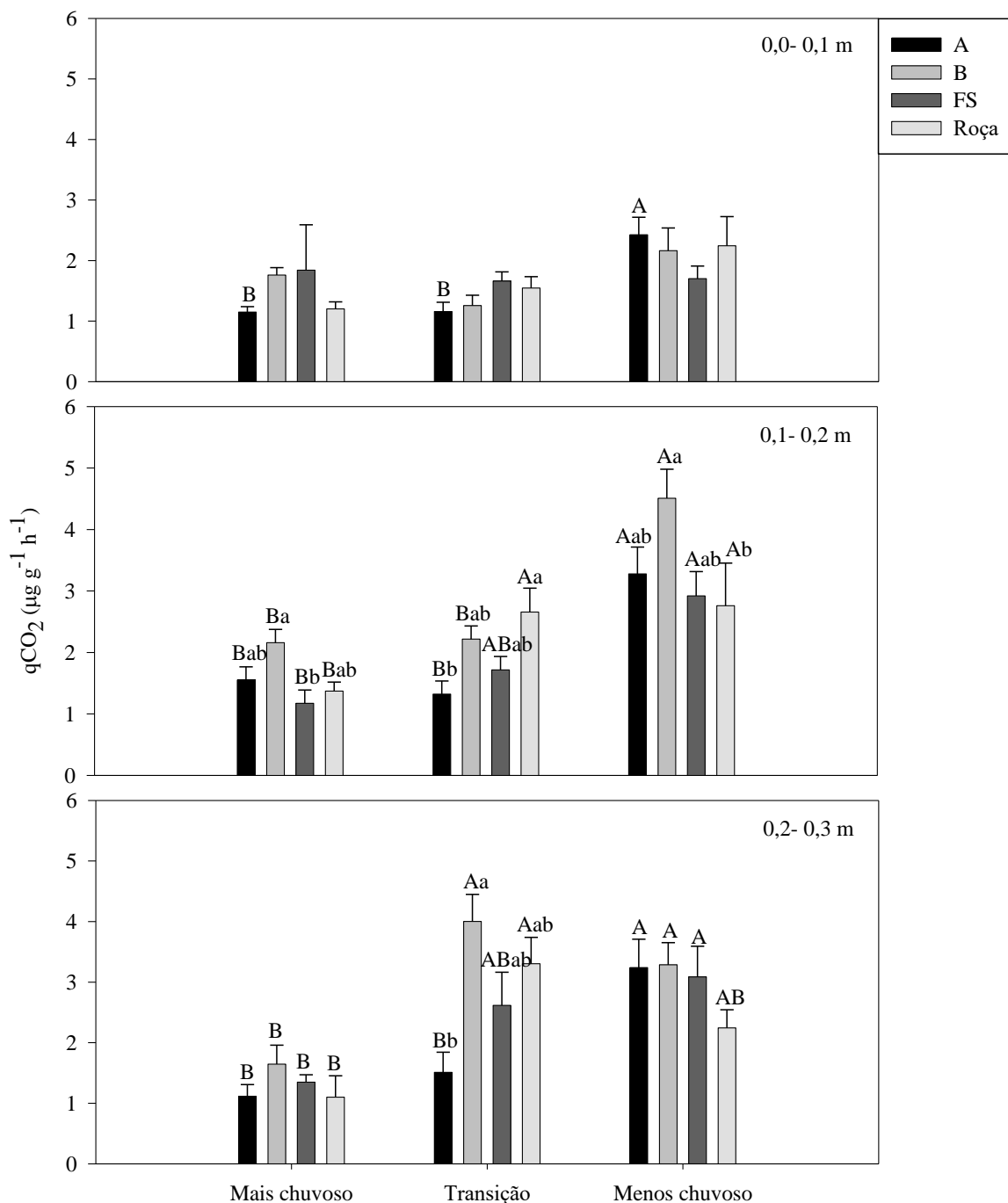
Os menores valores de  $qCO_2$  observados na FS nas camadas subsuperficiais revelam maior presença de população fúngica, visto que existe elevado teor de BMS e baixo  $qCO_2$ . Este resultado demonstra maior eficiência na utilização do carbono na área de FS, já que Ohtonen et al. (1999) afirmam que fungos são mais efetivos no uso de sua energia do que bactérias. A camada mais superficial é considerada a camada mais ativa do ponto de vista biológico, por apresentar maior teor de matéria orgânica. Nesta camada, apenas a Parcela A apresentou aumento de  $qCO_2$  do período chuvoso para o período menos chuvoso. Esta relação ocorre de maneira natural nos ecossistemas, devido à redução da quantidade de água no solo, tanto que se observa essa mesma tendência para as demais áreas.

### **3.4 - Quociente microbiano (qMIC)**

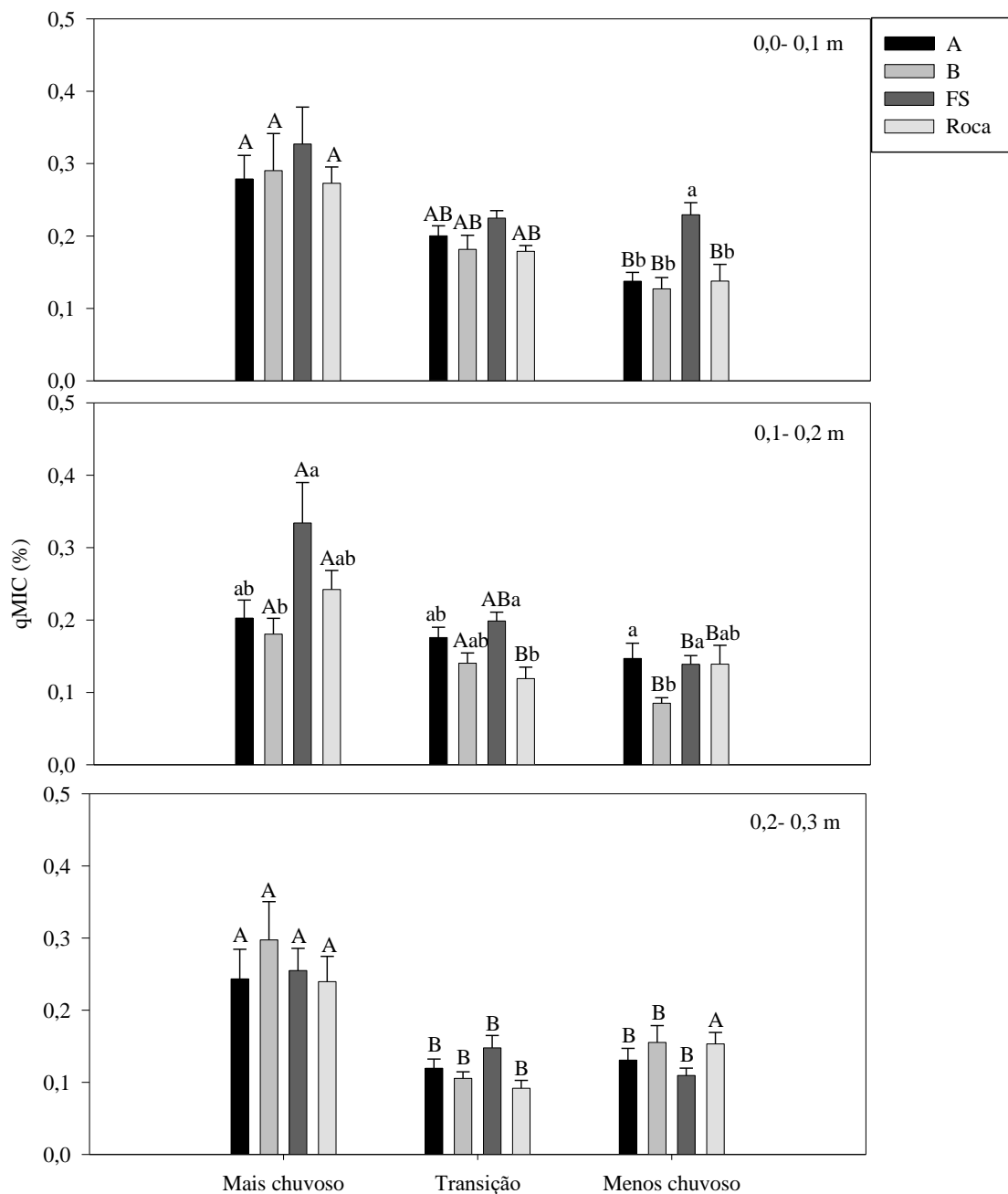
O menor valor de qMIC foi obtido na Parcela B, no período menos chuvoso, na camada 0,1-0,2 m, 0,08%, enquanto que o maior valor de qMIC foi obtido na FS, na mesma camada, no período mais chuvoso, 0,33% (Figura 8). Nas três camadas avaliadas os valores de qMIC foram maiores no período mais chuvoso em relação ao menos chuvoso. Essa relação só não foi constatada na camada 0,0-0,1 m para FS, na camada 0,1-0,2 m para a Parcela A, bem como na camada 0,2-0,3 m para Roça.

Na camada 0,0-0,1 m só houve diferença entre as áreas no período menos chuvoso, onde a FS teve maior valor de qMIC em relação às demais áreas. Já na camada 0,1-0,2 m durante o período mais chuvoso o quociente foi maior na FS em relação às Parcelas A e B, e maior em relação à Roça no período de transição. Ainda nessa camada, no período menos chuvoso a Parcela A e a FS tiveram qMIC maior do que o valor obtido na Parcela B.





**Figura 7.** Quociente metabólico do solo nas áreas Parcela A, Parcela B, Floresta secundária (FS) e Roça em março/2016 (mais chuvoso), julho/2016 (transição) e novembro/2016 (menos chuvoso) em Caxiuanã, Pará. Letras maiúsculas comparam as áreas, no mesmo período; letras minúsculas comparam os períodos de coleta, em cada área (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).  
Fonte: Autores (2017).



**Figura 8.** Quociente microbiano do solo nas áreas Parcela A, Parcela B, Floresta secundária (FS) e Roça em março/2016 (mais chuvoso), julho/2016 (transição) e novembro/2016 (menos chuvoso) em Caxiuanã, Pará. Letras maiúsculas comparam as áreas, no mesmo período; letras minúsculas comparam os períodos de coleta, em cada área (Teste Tukey,  $p < 0,05$ ).  
Fonte: Autores (2017).

## Conclusão

As variáveis microbiológicas foram capazes de detectar alterações no funcionamento do sistema solo em virtude das mudanças na forma de uso da terra e redução da disponibilidade hídrica do solo na floresta primária.

Textura, umidade e teor de matéria orgânica do solo são os principais fatores que controlam quantidade e qualidade da biomassa microbiana nos solos sob floresta primária, sucessional e área agrícola em Latossolos altamente intemperizados de Caxiuana.

A floresta secundária de 16 anos apresentou as melhores condições de quantidade e atividade da biomassa microbiana do solo. E a exclusão de água da chuva na floresta primária em experimento de longa duração afetou significativamente a biomassa microbiana do solo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro, bem como ao projeto: ESECAFLOR/LBA/MCTI/CNPq/FNDCT, processo 457914/2013-0 pela disponibilização dos dados, imprescindíveis para realização deste estudo.

### **Referências**

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. *Soil Biology Biochemistry*, v. 4, p. 471-479, 1989. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X).

AMARANTE, C.B.; RUIVO, M.L.P.; OLIVEIRA, M.L.; MOURA, Q.L. Diversidade microbiana em solos de Terra Preta Arqueológica, *Enciclopédia biosfera*, v. 6, n. 11, p. 1-10, 2010.

BALDRIAN, P.; MERHAUTOVÁ, V.; PETRÁNKOVÁ, M.; CAJTHAML, T.; ŠNAJDR, J. Distribution of microbial biomass and activity of extracellular enzymes in a hardwood forest soil reflect soil moisture content. *Applied Soil Ecology*, v. 46, p. 177-182, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.013>.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. *Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza – SNUC*: 3. ed. aum. Brasília: MMA/SBF, 2003.52p.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen soil. *Soil Biology Biochemistry*, v. 17, p. 837-842, 1985. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0).

COSTA, A.C.L.; METCALFE, D.B.; DOUGHTY, C.E.; OLIVEIRA, A.A.R.; NETO, G.F.C.; COSTA, M.C.; SILVA JUNIOR, J.A.; ARAGÃO, L.E.O.C.; ALMEIDA, S.; GALBRAITH, D.R.; ROWLAND, L.M.; MEIR, P.; MALHI, Y. Seasonality of ecosystem respiration and net primary productivity after 8–10 years of experimental drought in an eastern Amazon forest. *Plant Ecology and Diversity*, v. 7, p. 7-24, 2013. <https://doi.org/10.1080/17550874.2013.798366>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2a ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1997.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: História, índices e consequências. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p.991-996, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000400026>.

FERREIRA, E.P.B.; STONE, L.F.; MARTIN-DIDONET, C.C.G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology*, v. 42, p. 288-296, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.05.005>.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. *Plant and Soil*, v. 338, p. 467-481, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0559-z>.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A.R.; TEIXEIRA, R.A.; SOUSA, E.S.; RUIVO, M.L.P. Soil attributes under different crop management systems in an Amazon Oxisols. *Bragantia*, v.74, n.4, p. 428-435, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.03914>.

MEIR, P.; BRANDO, P. M.; NEPSTAD, D.; VASCONCELOS, S. S.; COSTA A.C.L.; DAVIDSON, E.; ALMEIDA, S.; FISHER, R.A.; SOTTA, E.D.; ZARIN, D.; CARDINOT, G. The effects of drought on Amazonian rain forests. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P.S. (Eds.) *Amazonia and Global Change*, Geophysical Monograph Series 186, 2009. p. 429-449. <https://doi.org/10.1029/2009GM000882>.

MELO, V.S.; DESJARDINS, T.; SILVA JR, M.L.; SANTOS, E.R.; SARRAZIN, M.; SANTOS, M.M.L.S. Consequences of forest conversion to pasture and fallow on soil microbial biomass and activity in the eastern Amazon. *Soil Use and Management*, v. 28, p. 530-535, 2012. <https://doi.org/10.1111/sum.12003>.

MENDES, I.C.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; REIS JUNIOR, F.B. Biological functioning of Brazilian cerrado soils under different vegetation types. *Plant and Soil*, v. 359, p. 183-195, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1195-6>.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1103-1110, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100008>.

MOURA, Q.L.; RUIVO, M.L.P.; RODRIGUES, H.J.B.; ROCHA, E.J.P.; SILVA JUNIOR, J.A.; VASCONCELOS, S.S.; ANDRADE, M.C.; MANES, C.O. Variação sazonal da população de bactérias e fungos e dos teores de nitrato e amônio do solo nos sítios do LBA e 10.18227/2177-4307.acta.v16i42.6464

PPBIO, na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 3, 265-274, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620140104>.

PATEL, K.; KUMAR, J.; KUMAR, R.N.; KUMAR, B. Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 8, n. 4, p. 377-390, 2010. [https://doi.org/10.15666/aeer/0804\\_377390](https://doi.org/10.15666/aeer/0804_377390).

RODRIGUES, H.J.B.; SÁ, L.D.A.; RUIVO, M.L.P.; COSTA, A.C.L.; SILVA, R.B.; MOURA, Q.L.; MELLO, I.F. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical húmida. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, p.629-638, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000400012>.

RUIVO, M.L.P.; PEREIRA, S.B.; BUSSETI, E.P.C; COSTA, R.F; QUANZ, B.; NAGAISHI, T.Y.; OLIVEIRA, P.J.; MEIR, P.; MALHI, Y.; COSTA, A.C.L. Propriedades do solo e fluxo de CO<sub>2</sub> em Caxiuanã, Pará: experimento LBA-ESECAFLOR. In: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; COSTA, L.T.R. (Org.), *Contribuições à geologia da Amazônia*. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 2002, p. 291-299.

RUIVO, M.L.P.; CUNHA, E. Mineral and organic components in archaeological black earth and yellow latosol in Caxiuanã, Amazon, Brazil. In: Tiezzi, E.; Brebbia, C.A.; Uso, J.L.(eds.) *Ecosystems and sustainable development*, Southampton, UK: WIT Press, 1113-1121, 2003.

SILVA, I.F.; ARAÚJO NETO, S.E.; KUSDRA, J.F. Biological activity of soils under systems of organic farming, agroforestry and pasture in the Amazon. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 3, p. 427-432, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300001>.

SILVA JUNIOR, J.A.; COSTA, A.C.L.; AZEVEDO, P.V.; COSTA, R.F.; METCALFE, D.B.; GONÇALVES, P.H.L.; BRAGA, A.P.; MALHI, Y.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MEIR, P. Fluxos de CO<sub>2</sub> do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 1, p. 85-94, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100009>.

SPARLING, G.P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C:Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 20, p. 337-343, 1988. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90014-4).

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, v. 30, p. 195-207, 1992. <https://doi.org/10.1071/SR9920195>.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, G.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S.I. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

WARING, B.G.; HAWKES, C.V. Short-Term Precipitation Exclusion Alters Microbial Responses to Soil Moisture in a Wet Tropical Forest. *Microbial Ecology*, v. 69, p. 843-854, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0436-z>.