



**Atributos Microbiológicos de Solo, Relacionados às
Atividades da Microfauna em Solo na Floresta Amazônica**
Microbiological Attributes of the Soil, Associated to
Microfauna Activities of Soil in the Amazonia Forest

Wendy Kaori Matsunaga¹; Hernani José Brazão Rodrigues² & Possidônio Guimarães Rodrigues³

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Unidade Acadêmica Ciências Atmosféricas.
Av. Aprígio Veloso, 882 Bodocongó, 58107-970 - Campina Grande, PB – Brasil

²Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Departamento de Meteorologia.
Av. Perimetral S/N –Guamá 66075-110 - Belém, PA – Brasil

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Cametá, Direção de Ensino, Pesquisa, Extensão,
Pós-graduação e inovação. Av. Gentil Bittencourt – Bairro: Centro, 68400000 - Cametá, PA – Brasil
E-mails: wendy_matsunaga3@hotmail.com; hernani@ufpa.br; possirodrigues@yahoo.com.br

Recebido em: 27/08/2018 Aprovado em: 11/10/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_630_638

Resumo

A Amazônia tem experimentado com maiores frequências anomalias fora dos padrões climatológicos devido às alterações no uso do solo, passando por períodos de demasiadas secas ou enchentes associadas às mudanças climáticas. O Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) desenvolveu o experimento ESECAFLOR, para o avaliar os efeitos da seca prolongada na dinâmica das florestas tropicais. Este estudo avalia as mudanças na biomassa, composição e atividade microbiana edáficas em diferentes níveis de profundidade, associado às variações de umidade e temperatura do solo, tornando interessante a investigação do efeito desses processos sobre as propriedades e funções do solo associados à disponibilidade de água no solo. As amostragens de solo para realização deste estudo foram feitas em 2015 em diferentes sazonalidades (período chuvoso, transição e seco) na floresta nacional de Caxiuanã. Foram utilizados como indicadores da atividade microbiológica do solo o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, a respiração basal do solo e a relação C:N da biomassa microbiana. Os resultados encontrados mostram que em áreas com exclusão de água, a biomassa diminui significativamente, e parte da Respiração Basal tende a migrar para níveis inferiores do solo onde se observa melhor reserva de umidade. Os indicadores de atributos microbiológicos do solo utilizados apresentam significativa relação de dependência com as variações sazonais da temperatura e umidade do solo. Os resultados observados no potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana sugerem que no período chuvoso há o predomínio da população bacteriana e no período de transição e seco prevalecem as populações fúngicas.

Palavras-chave: Floresta; Atividade Microbiana; Estresse Hídrico

Abstract

The Amazon has experimented more often non-standard weather patterns due to the change in land use, through periods of flood and drought associated with climate change. The Large Scale Program of the Biosphere-Atmosphere in the Amazon (LBA) developed the ESECAFLOR experiment to calculate the effects of prolonged drought on the dynamics of tropical forests. This study evaluates how changes in soil biomass, composition and microbial activity in different levels of depth, associated to variations in soil moisture and temperature, making interesting the investigation of the effect of these processes on the properties and functions of the soil associated with the availability of water in the soil. The soil samples to perform this study were made in 2015 in different periods (rainy, transition and dry period) in the national forest of Caxiuanã. The microbiological activity of the carbon and nitrogen soil of the microbial biomass, soil basal respiration and a C: N ratio of the microbial biomass were used as indicators of the microbiological activity of the carbon and nitrogen soil. The results show that in areas with water exclusion, biomass decreases significantly, and part of the Basal Breath tends to migrate to lower soil levels where a better moisture reserve is observed. The microbiological soil attributes indicators can be used as a dependence relation with the seasonal variations of soil moisture. The observed results show that the potential of N mineralization and changes in microbiology suggest that in the rainy season there is a predominance of bacterial population and in the transition period and dry prevail the fungal populations.

Keywords: Forest; Microbial Activity; Water Stress

1 Introdução

O solo realiza funções fundamentais nos ecossistemas terrestres como a ciclagem de nutrientes (Doran & Parkin, 1994). Esse ciclo depende das populações microbianas que podem ser monitoradas através dos atributos microbiológicos indicadores da variabilidade de concentração de nutrientes e propriedades do solo, que por sua vez é o suporte para esses organismos vivos.

Segundo Stenberg (1999) a qualidade de um solo é a sua capacidade de absorver, armazenar e reciclar sustentavelmente os recursos como água e nutrientes minerais. Essa qualidade é dependente dos seus fatores de formação e das interferências humanas relacionadas ao uso e manejo do solo (Gregorich et al., 1994). A compreensão da microclimatologia associada à biomassa microbiana do solo é essencial para o entendimento de variações quantitativas nas populações de micro-organismos em escala sazonal e de grande importância para o estabelecimento de espécies e manutenção da microfauna de solo no ecossistema (Rodrigues et al., 2011).

Em Caxiuanã, as interações entre o microclima e as populações microbianas do solo de floresta nativa sob condições naturais e submetida ao estresse hídrico foram investigadas por Rodrigues et al. (2011). Os autores destacaram um padrão diferenciado para a proporção entre fungos e bactérias de acordo com a disponibilidade de água no solo (Moura et al., 2015).

Os indicadores químicos do solo retratam parâmetros que são responsáveis pelos processos naturais do funcionamento do solo, como a matéria orgânica, que influencia a liteira e a biomassa microbiana (Aragão et al., 2012). Os atributos microbiológicos como carbono da biomassa microbiana e os quocientes metabólico e microbiano permitem avaliar os impactos ambientais e a resiliência do solo (Kaschuk et al., 2010).

A maioria dos estudos anteriores tem focado os efeitos de secagem temporária ou variação sazonal da umidade do solo sobre a biomassa e atividade microbiana do solo (Baldrian et al., 2010). Deste modo, objetivou-se neste trabalho, avaliar a biomassa microbiana do solo, a respiração basal do solo e índices derivados em um experimento de simulação

de seca prolongada (ESECAFLOR) na floresta amazônica sobre os atributos do solo para observar o comportamento dos micro-organismos em um ano com evento de El-Niño muito intenso.

2 Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na Estação científica Ferreira Penna (Figura 1), localizada na Floresta Nacional de Caxiuanã, município de Melgaço, distante aproximadamente 350 km da capital Belém/PA, nas parcelas do experimento ESECAFLOR (O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica), que teve início em janeiro de 2002. Em sua estrutura física o ESECAFLOR é composto por duas parcelas (A e B) de 1 hectare cada.

O clima da região é do tipo Am, conforme a classificação de Köppen, com uma temperatura média do ar anual de $25,7 \pm 0,8$ °C, e uma pluviosidade média anual entorno de 2.272 ± 193 mm (Silva Junior et al., 2013). A sazonalidade não é bem definida entre as quatro estações do ano, mas observa-se dois períodos distintos, um correspondendo ao período menos chuvoso (entre agosto e novembro) e outro ao período chuvoso (entre dezembro e maio).

2.2 Amostragem do Solo

A parcela “A” denomina-se o controle, ou seja, é a referência do ambiente em condições naturais para a simulação de seca que ocorre na parcela B, onde está sendo feita a exclusão de aproximadamente 50% da água da chuva com a utilização de painéis plásticos instalados a uma altura de 1 a 2 metros acima do solo (Fisher et al., 2007). A amostragem do solo ocorreu em três períodos sazonais distintos no ano de 2015, sendo o primeiro no mês de março, caracterizando o período chuvoso, o segundo em julho, representativo do período de transição e a última coleta foi obtida em dezembro, representativo para o período menos chuvoso. Foram realizadas coletas de solo em oito pontos em cada parcela (A e B), com uso de um trado holandês nas profundidades 0,0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, para caracterização química e microbiológica do solo.



Figura 1 Mapa de localização da Estação Científica Ferreira Penna, na Floresta Nacional de Caxiuanã/Pará.

2.3 Análises do Solo

A umidade do solo utilizada neste estudo 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 mu é a massa de solo úmido, ms é a massa de solo seco em gramas.

A temperatura do solo foi medida pelo sensor TERMOPAR, nas profundidades de 0,05m, 0,20m e 0,5m. A temperatura nas profundidades de 0,05m e 0,2m foram empregadas para analisar os dados de biomassa, Respiração Basal e relação C:N nas camadas 0-0,1m e 0,1-0,2m, respectivamente. E devido à ausência de dados em uma profundidade adequada para a camada 0,2-0,3m, foi utilizado a média entre a temperatura de 0,2m e 0,5m.

2.4 Análise Microbiológica do Solo

O carbono (CBM) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) foram determinados pelo método irradiação-extração. O extrator utilizado foi o K2SO4 0,5 mol L-1 tanto para o carbono como para o nitrogênio da biomassa microbiana. O C contido nos extratos foi quantificado por meio de oxidação via úmida (Yeomans & Bremner, 1988) sem aquecimento externo. O fator de conversão (KC) usado para converter o fluxo de C para CBM foi de 0,33 (Sparling & West, 1988). Os teores de CBM foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a 105 °C, por 24 h. Os valores do carbono presente na biomassa microbiana foram calculados a partir da equação:

$$C_i.ni = \frac{(V_b - V_{am}) \cdot (Mol \text{ do } FeSO_4) (3) (1000) (V_{exr})}{(V_{ex}) \cdot (\text{peso do solo})}$$

Vb = volume do branco (ml); Vam = volume da amostra (ml); Vexr = volume do extrator(ml) ; Vex = volume

do extrato, volume utilizado para a determinação do carbono (ml);3 = resultado da relação entre o número de mols de Cr2O7 que reagem com o C(3/2) multiplicado pelo C (12);

1000 = fator de conversão de unidade. Então:

$$C_{mic} = \frac{(C_i - C_{ni})}{K_c}$$

C_i = amostra irradiada; C_{ni} = amostra não irradiada;
K_c = 0,33, para o método de irradiação de CBMS.

O Nitrogênio contido nos extratos foi quantificado por meio de digestão sulfúrica, seguida de destilação Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). Os teores de NBM foram expressos com base na massa de solo seco em estufa a 105 °C por 24 h. O teor de N presente na Biomassa microbiana é calculado pela equação descrita a seguir:

$$N_i \text{ (mg/L)} = \frac{(V_{am} - V_{br}) \cdot (R+) \cdot 14}{V} \quad (14)$$

V_{am} = Vol. de HCl gasto na titulação da amostra (ml);
V_{br} = Vol. de HCl (ml) gasto na titulação do branco;
R+ = concentração real de ácido clorídrico; 14 = peso equivalente de nitrogênio; V = volume (L).

$$N_i \cdot n_i \text{ (mg/kg)} = \frac{N(V_{exr}) \times 1000}{\text{Peso de amostra}}$$

1000 = fator de conversão de unidade.

Então:

$$N_{mic} = \frac{(N_i - N_{ni})}{K_n}$$

Todas as extrações com K₂SO₄ para determinação do CBM e NBM nas amostras de solo ocorreram até o quinto dia após as coletas em campo e os resultados foram expressos em mg.kg solo-1 BMS.

A respiração basal (RB) do solo foi determinada pela captura do C-CO₂ liberado durante o processo de respiração microbiana por um período de dez dias de incubação na presença de NaOH (Jenkinson & Powlson, 1976). A quantificação ocorreu por meio da titulação do extrato pelo HCl na presença de BaCl₂. Os resultados da respiração basal do solo foram expressos em mg C-CO₂.kg-1 solo.dia-1.

3 Resultados e Discussão

3.1 Respiração Basal do Solo (RBS)

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO₂ é produzido. As bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica, sendo desta forma, a RBS está diretamente relacionada à atividade microbiana do solo (Martins et al., 2011).

Os dados de RBS na figura 2 indicam que a respiração basal do solo na parcela de floresta natural diminui com o aumento da profundidade, maiores valores de RBS são encontrados na primeira camada devido a maior disponibilidade de água na profundidade mais rasa, indicando alto nível de produtividade do ecossistema. Na parcela de exclusão, a umidade gravimétrica (UG) do solo diminui devido a retirada de água através das lonas instaladas, consequentemente a RBS reduz indicando menor atividade ou morte de parte desses micro-organismos e menor liberação de CO₂ para atmosfera. Ao decorrer do ano, há uma inversão da concentração da população microbiana entre todas as profundidades, na qual o maior valor de respiração basal do solo no período menos chuvoso se concentra na profundidade 0,2-0,3 m, indicando que há distúrbio devido a migração desses micro-organismos para a região de maior conforto térmico devido a mudança para o período menos chuvoso.

O gráfico de RBS, na figura 3, mostra que a variação da Respiração Basal do Solo possui uma influência secundária em relação à temperatura, porém nota-se o significativo aumento da temperatura do solo (T_s) em toda variação sazonal na parcela B, devido a exclusão da água e consequentemente a diminuição da umidade disponível no solo, como foi observado no gráfico anterior (Figura 4).

3.2 Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBMS)

O maior teor de CBMS na parcela controle é reflexo direto da disponibilidade de água no solo sobre a população microbiana. Diversos autores têm citado a umidade do solo como um dos principais fatores para o desenvolvimento da biomassa microbiana do solo (Díaz-Raviña et al., 1995; Mosier, 1998; Marschner et al., 2002).

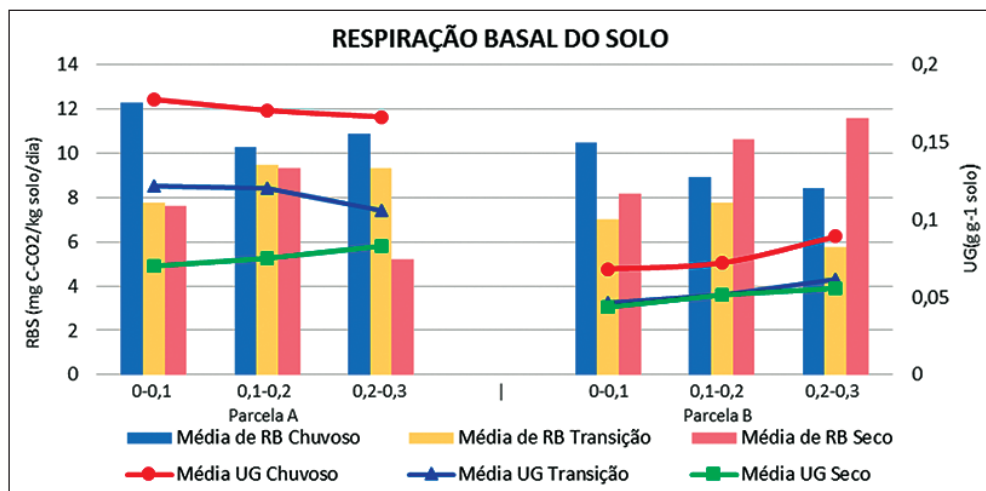


Figura 2 Gráfico da variação da RBS nas parcelas A e B em relação à variação de umidade gravimétrica.

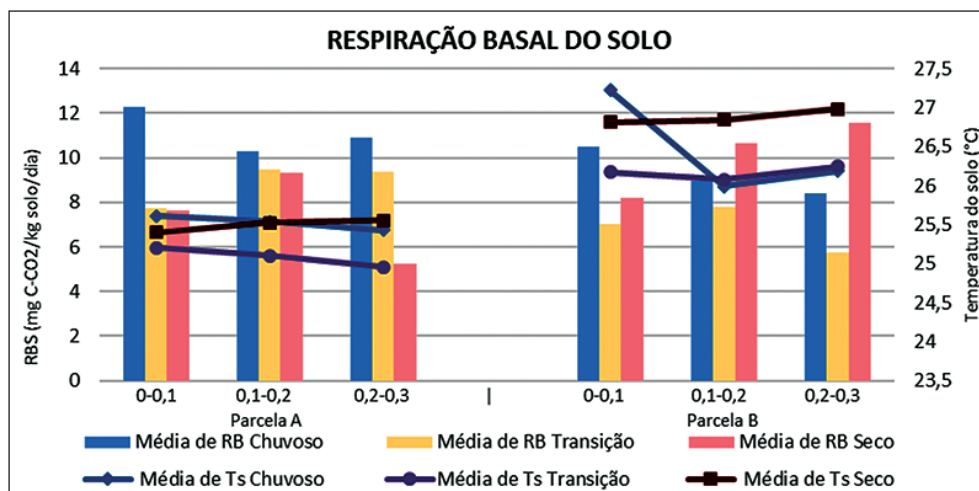


Figura 3 Gráfico da variação da RBS nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura do solo.

Na figura 4, os maiores teores de Carbono na biomassa microbiana do solo são encontrados no período chuvoso. Contudo, ao se comparar com o ambiente em estresse hídrico, na parcela de exclusão, a quantidade de CBMS é reduzida significativamente em relação ao controle, com a maiores concentrações de carbono no período de transição, pois durante este período existe uma condição de recuperação da densidade populacional da biomassa microbiana, voltando a cair no período menos chuvoso. Os baixos teores de carbono encontrados em todas as profundidades na parcela de exclusão revelam o impacto que a exclusão de água exerce sobre as taxas de fixação de carbono no solo através da biomassa microbiana, por se tratar de um atributo sensível às perturbações no ambiente.

Observa-se claramente na figura 5, a menor concentração de Carbono da Biomassa Microbiana no

solo na parcela de floresta com estresse hídrico, onde os valores de temperatura são mais elevados devido a exclusão da água nesta parcela (Figura 5).

3.3 Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo (NBMS)

A formação de camadas superficiais adensadas pode ainda ser influenciada pela presença de cobertura vegetal ou de resíduos culturais sobre o terreno. Quando o solo está coberto pela vegetação ou por resíduos, uma grande proporção de gotas de chuvas é interceptada pela cobertura, que absorve parte da energia cinética antes desta alcançar a superfície do solo, reduzindo a formação de crostas; além de amortecer o impacto das gotas da chuva, vegetação ou resíduos reduzem o escoamento superficial e mantêm a umidade em níveis mais elevados (Duley & Kelly, 1939). A diminuição da precipitação pluviométrica no

Figura 4 Gráfico da variação do CBMS nas parcelas A e B em relação à variação de umidade gravimétrica.

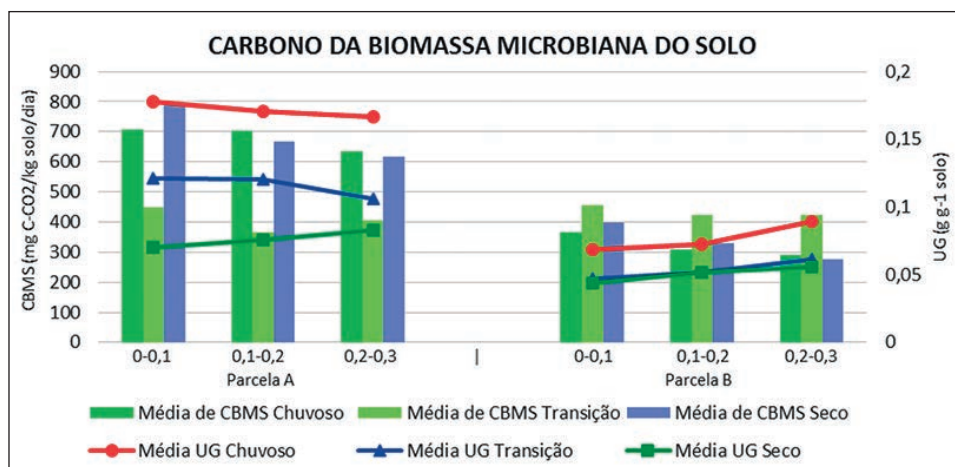
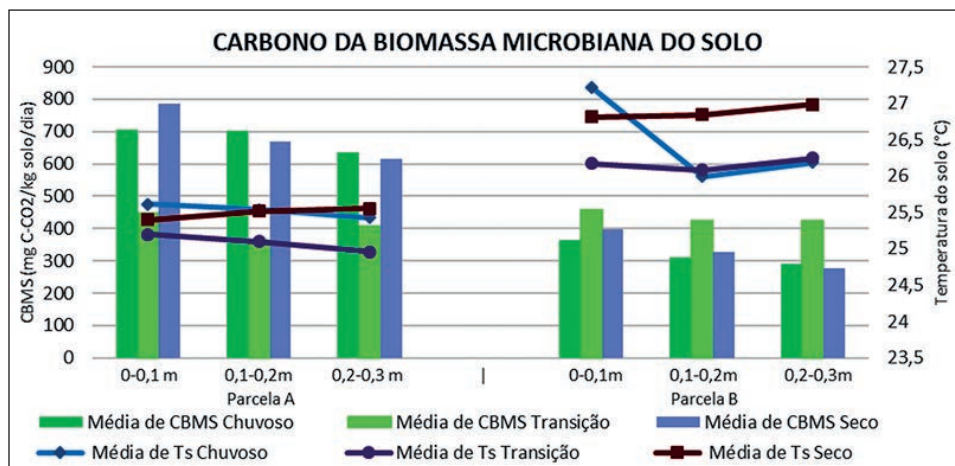


Figura 5 Gráfico da variação do CBMS nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura do solo.



período menos chuvoso, o aumento da temperatura e a exclusão de água precipitada na parcela B, levou a uma diminuição nos teores de NBM (Figura 6), o que pode ser interpretado como resultante da menor taxa de decomposição da matéria orgânica, reduzindo temporariamente a concentração de N, com aumento da profundidade do solo, resultando na diminuição do nitrogênio e da liberação de CO₂.

Ao analisar a figura 7, nota-se que não há uma variação significativa do teor de Nitrogênio entre as profundidades na parcela de exclusão, onde a temperatura aumenta ao longo da profundidade, inversamente à concentração de NBMS que decai nas primeiras camadas do solo, porém na profundidade 0,2-0,3m não se observa mais essa relação.

3.4 Potencial de Mineralização de Nitrogênio no Solo

O efeito da sazonalidade sobre os valores de C:N mic foi observado para todas as profundidades

e em ambas as parcelas e com maiores médias para o período menos chuvoso. Percebe-se também que o potencial de mineralização de nitrogênio no solo aumenta de acordo com o aumento da profundidade do solo, onde o período chuvoso aponta menores índices de potencial de mineralização de nitrogênio e suas taxas caem mais ainda na parcela de exclusão onde praticamente estabilizam em todas as camadas com uma taxa de aproximadamente 5 mg BMS kg⁻¹ solo. Valores acima de 10 mg BMS kg⁻¹ solo indicam predomínio de fungos e abaixo deste valor, predomínio de bactérias. A microbiota bacteriana é rica em proteínas, e, por conseguinte, possuem maiores teores de N, em relação à microbiota fúngica resultando em uma menor relação C/N (Anderson & Domsch, 1980; Brady, 1989; Tate, 2000). Portanto, o potencial de mineralização de nitrogênio no solo encontrado em Caxiuanã (figura 8), durante o período chuvoso evidencia o domínio de população bacteriana, durante o

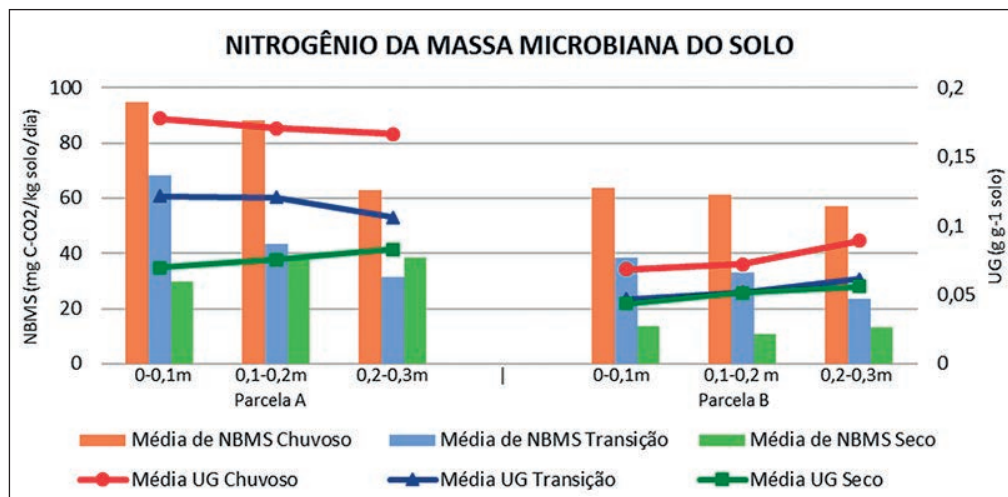


Figura 6 Gráfico variação de NBMS nas parcelas A e B em relação à variação de umidade de solo.

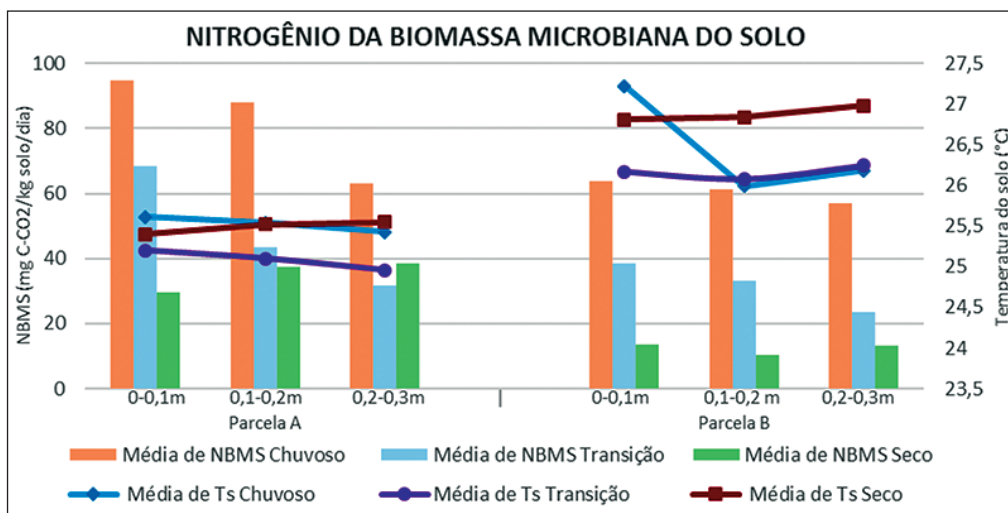


Figura 7 Gráfico da variação de NBMS nas parcelas A e B em relação à variação de temperatura do solo.

período menos chuvoso e transição, existe uma redução maior no teor de nitrogênio do solo e em consequente há o predomínio de populações fúngicas.

Maiores valores potencial de mineralização de nitrogênio mostrados na figura 9 estão na parcela B, juntamente com o aumento na temperatura, indicando a predominância da população fúngica, esse comportamento está relacionado ao estresse hídrico induzido. Na qual, ao se comparar com a parcela de floresta natural que possui as menores taxas do potencial de mineralização de N observa-se uma menor mudança na composição microbiana ao longo do ano.

4 Conclusão

A maior taxa de respiração basal é observada na parcela A no período chuvoso e na primeira camada

do solo, devido as condições naturais serem mais favoráveis à atividade microbiológica. No período menos chuvoso há uma redução populacional que é consequente da diminuição da taxa de RBS, evidenciando a associação deste resultado com a diminuição da disponibilidade hídrica. Na parcela com exclusão de água, observou-se a inversão das taxas de RBS nas profundidades estudadas, aonde os micro-organismos migraram para a profundidade de 0,20-0,30m em consequência da redução da umidade no período menos chuvoso e aumento do estresse hídrico.

O maior teor de NBM em todos os períodos encontrados na parcela de controle evidenciaram a influência direta e rápida que a disponibilidade hídrica tem na manutenção do nitrogênio da biomassa microbiana do solo. A sensibilidade do NBM em

Figura 8
Gráfico da variação do potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana em relação à variação de umidade gravimétrica do solo.

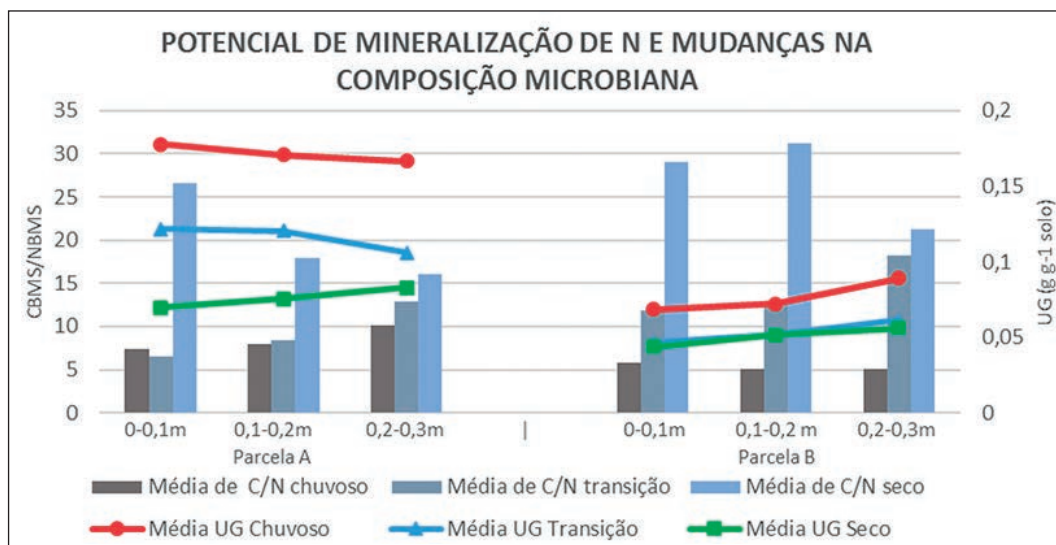
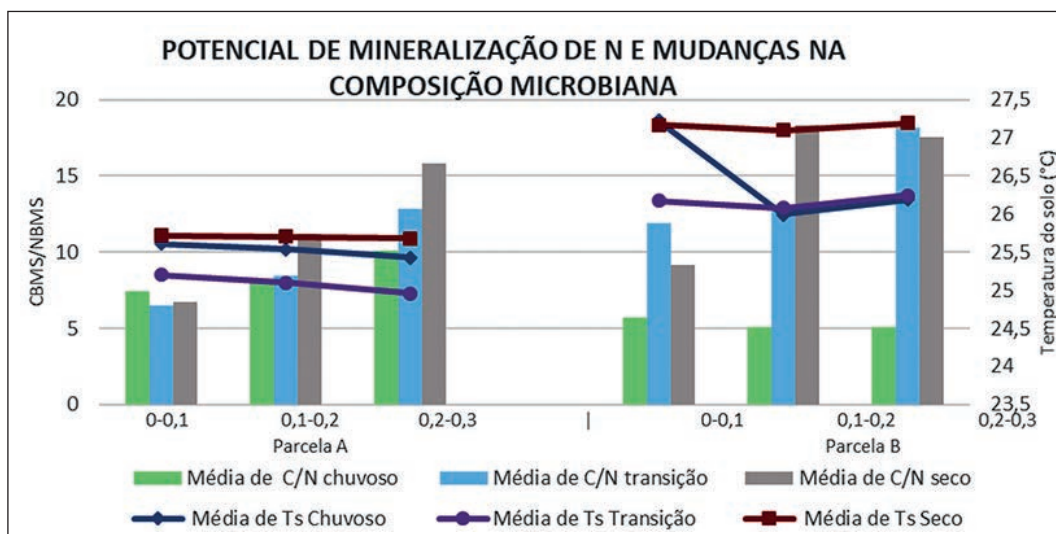


Figura 9 Gráfico da variação do potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana em relação à variação de temperatura do solo.



relação à sazonalidade foi comprovada em todas as profundidades avaliadas, com os teores do período chuvoso sendo maiores que os teores do período menos chuvoso.

O potencial de mineralização de N e mudanças na composição microbiana no solo de Caxiuanã sugere que no período chuvoso existe o predomínio da população bacteriana, uma vez que a microbiota bacteriana é rica em proteína e, por conseguinte possui maiores teores de nitrogênio o que resulta em valores mais baixos da relação C/N mic. Já nos períodos seco e transição, há uma redução nos teores de nitrogênio e consequente predomínio de populações fúngicas. Então o padrão observado na parcela controle é distinto do conferido para a parcela exclusão quanto à relação C:N mic.

Analisando a Biomassa Microbiana, a Respiração Basal e a relação C:N notou-se que a Umidade Gravimétrica possui uma melhor correspondência à todas as variáveis estudadas, enquanto que a Temperatura do Solo apresenta apenas uma influência secundária aos atributos microbiológicos do solo.

5 Referências

- Anderson, T.H. & Domsch, K.H. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science*, 130: 211-216.
- Aragão, D.V.; Carvalho, C.J.R.; Kato, O.R.; Araújo, C.M. & Santos, M.T.P.; Mourão Júnior, M. 2012. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta amazônica*, 42: 11-18.

- Baldrian, P.; Merhautová, V.; Petránková, M.; Cajthaml, T. & Šnajdr, J. 2010. Distribution of microbial biomass and activity of extracellular enzymes in a hardwood forest soil reflect soil moisture content. *Applied Soil Ecology*, 46: 177-182.
- Díaz-Raviña, M.; Acea, M.J. & Carballas, T. 1995. Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 19: 220-226.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W.; Duley, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 4: 3-22.
- Duley, F.L. & Kelly. 1939. L.L. Effect of Soil Type, Slope, and Surface Conditions on Intake of Water, Historical Research Bulletins of the Nebraska. *Agricultural Experiment Station (1913-1993)*, 4: 60-64.
- Fisher, R.A.; Williams, M.; Costa, A.C.L.; Malhi, Y.; Costa, R.F.; Almeida, S. & Meir, P. 2007. The response of an Eastern Amazonia rain forest to drought stress: results and modelling analyses from a throughfall exclusion experiment, *Global Change Biology*, 13: 2361-2378.
- Gregorich, E.G.; Carter, M.R.; Angers, D.A.; Monreal, C.M. & Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal Soil Sci.*, 74: 367-385.
- Jenkinson, D.S. & Powlson, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 209-213.
- Kaschuk, G.; Alberton, O. & Hungria, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biol Bioch*, 42: 1-13.
- Marschner, P.; Marino, W. & Lieberei, R. 2002. Seasonal effects on microorganisms in the rhizosphere of two tropical plants in a polyculture agroforestry system in Central Amazonia, Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 68-71.
- Martins, G.S.; Abreu, V.P. & Campos, A.N.R. 2011. Respiração basal do solo acrescido de compostos orgânicos de carbono para monitoramento da qualidade biológica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2, Fortaleza, Ceará. Resumo Expandido: Cadernos de Agroecologia, 6(2).
- Mosier, A.R. 1998. Soil processes and global change. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 221-229.
- 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. 2015. Variação sazonal da população de bactérias e fungos e dos teores de nitrato e amônio do solo nos sítios do LBA e PPBIO, na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30: 265-274.
- 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. 2011. Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical húmida. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26: 629-638.
- 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. 2013. Fluxos de CO₂ do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28: 85-94.
- Sparling, G.P. & West, A.W. 1988. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 337-343.
- Stenberg, B. 1999. Monitoring soil quality or arable land: microbiological indicators. Acta Agric. Scand. Sect. B. *Soil. Plan. Sci*, 49: 1-24.
- Tate, R.L. 2000. Soil microbiology. 2^a ed. New York: John Wiley & Sons. 536 p.
- Tedesco, M.J.; Volkweiss, S.J. & Bohmen, H. 1985. Análises de solo, plantas e outros materiais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 176 p.
- Yeomans, J.C. & Bremner J.M. 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1467-1476.