

DISTRIBUIÇÃO DE ATIVIDADE MICROBIANA E CICLAGEM DE CARBONO EM SOLO TROPICAL HETEROGÊNEO**MA078**

Patricia Österreicher-Cunha*¹, Eurípedes do Amaral Vargas Jr.¹, Franklin dos Santos Antunes¹, Geórgia Peixoto Bechara Mothé¹, Priscilla Lopes da Silva Guimarães^{1,3}, Amanda Baião Fernando¹, Jean Rémy Davée Guimarães², Heitor Luiz da Costa Coutinho³,
osterr@esp.puc-rio.br

1 Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio, Brasil.

2 Instituto de Biofísica Carlos Chagas F^o, UFRJ, Brasil.

3 Centro Nacional de Pesquisa de Solos, EMBRAPA-Solos, Rio de Janeiro, Brasil.

(RESUMO) O presente trabalho foca um solo residual jovem do Rio de Janeiro. A repartição heterogênea de duas feições principais gera uma diferenciação na atividade microbiana, influenciando a ciclagem de nutrientes e a degradação do C orgânico natural e xenobiótico. A disponibilidade de nutrientes, água e oxigênio seleciona populações com diferentes capacidades degradadoras em cada feição. O estudo relaciona as características mineralógicas e geotécnicas dos solos às da microbiota, ligando biomassa e atividade com teor, disponibilidade e utilização do C, assim como a distribuição da microbiota com as características físico-químicas do solo. A feição com menor atividade degradadora, menos C e água, suporta uma microbiota mais eficiente na assimilação do C, mais disponível e mais alocado na biomassa, possivelmente devido à melhor circulação de ar, água e nutrientes proporcionada pela maior porosidade do solo.

(INTRODUÇÃO) Solos residuais jovens apresentam vestígios da estrutura da rocha-mãe que lhes deu origem, e sua heterogeneidade pode ter grande importância na distribuição de ar e água, o que influencia diretamente a distribuição de oxigênio e nutrientes disponíveis para as populações microbianas autóctones. A relação da distribuição espacial de populações e atividade microbianas com a composição mineralógica e a estrutura de solos tropicais ainda é pouco investigada até o momento. Outrossim, solos residuais brasileiros têm características diferentes dos solos sedimentares do hemisfério Norte, onde se faz grande parte da pesquisa nessa área.

A necessidade de elucidar alguns fenômenos importantes na área de geotecnia levou ao estudo da extensão, a importância e a utilidade dos processos biológicos na geo-engenharia. A microbiologia do solo tem focado a camada superficial do solo, ocupada pelas raízes, enfoque enfatizado visto a importância dos processos microbianos na manutenção da fertilidade do solo e da vida no nosso planeta. Assim sendo, a zona que se estende da rizosfera até o aquífero, ou zona vadosa, tem sido pouco estudada e os processos são ainda pouco conhecidos, em todos os aspectos. Considerando os avanços recentes da microbiologia ambiental, é relevante avaliar a importância de estudos nas interfaces entre geotecnia e biologia que podem ser úteis na pesquisa e na prática da engenharia ambiental.

Outro aspecto importante nas questões do mundo industrializado é o papel dos sistemas biológicos na solução dos problemas de contaminação ambiental. De fato, a microbiota ambiental tem a capacidade de seqüestrar e degradar compostos xenobióticos, usando-os como substrato para seu metabolismo. Em particular, a atenuação natural vem sendo muito utilizada na remediação de áreas contaminadas, dando considerável importância aos processos envolvidos na biodegradação de contaminantes. Assim sendo, avaliar o estado metabólico da microbiota permite monitorar processos de biodegradação, sendo ela a principal responsável pela ciclagem de compostos orgânicos. No entanto, condições ambientais, composição e estrutura do solo são determinantes na distribuição, composição e atividade da microbiota, evidenciando a necessidade de avaliar o solo como suporte para seu crescimento.

(OBJETIVOS) O estudo descreve as principais feições de um solo residual jovem do Rio de Janeiro sob enfoque mineralógico, químico e geotécnico, relacionando essas características às da população microbiana, com o objetivo de avaliar os efeitos das condições climáticas sobre

as propriedades do solo e como eventuais modificações neste podem afetar os parâmetros microbianos e, conseqüentemente, a ciclagem do carbono.

(METODOLOGIA) Solo - Trata-se de um solo residual jovem de rocha metamórfica de gnaiss, coletado em um perfil de intemperismo da região metropolitana do Rio de Janeiro. As estruturas e características da rocha mãe são encontradas no solo, o qual apresenta grande heterogeneidade na profundidade do estudo (3 m). Duas principais feições, uma siltosa (S) e outra arenosa (A) são encontradas, conforme descrito anteriormente (Österreicher et al., 2004).

Coletas - Aconteceram ao longo de dois anos, em um talude da rodovia Washington Luís, Duque de Caxias. Os solos foram retirados na profundidade de aproximadamente 3m, em diferentes épocas do ano, contemplando situações climáticas diversas. Foram coletadas duas amostras de solo siltoso e duas de arenoso, sempre retiradas dos mesmos locais.

Tabela 1 – Características físicas e mineralogia das duas principais feições do solo.

| arenosas A | | siltosas S | | |
|------------|--------|------------|--------|--|
| média | dv pad | média | dv pad | |
| 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | Pedregulho Grosso |
| 0,014 | 0,024 | 1,144 | 1,387 | Pedregulho Médio |
| 5,765 | 0,639 | 1,693 | 0,978 | Pedregulho Fino |
| 33,73 | 1,593 | 4,357 | 0,750 | Areia Grossa |
| 12,69 | 1,414 | 5,327 | 2,710 | Areia Média |
| 10,20 | 3,064 | 14,17 | 5,853 | Areia Fina |
| 16,83 | 6,083 | 31,38 | 7,067 | Silte |
| 20,78 | 6,174 | 40,92 | 13,04 | Argila |
| 53,75 | 3,754 | 69,98 | 8,636 | Limite de Liquidez |
| 32,91 | 1,665 | 44,07 | 0,086 | Limite de Plasticidade |
| 20,85 | 2,089 | 25,91 | 8,722 | Índice de Plasticidade |
| 44,93 | | 48,03 | | Porosidade * |
| 0,82 | | 0,93 | | Índice de vazios * |
| 2,638 | 0,003 | 2,769 | 0,001 | densidade média dos grãos: Gs |
| 2,642 | 0,003 | 2,774 | 0,001 | dens. relativa média dos grãos: Gds |
| 4,9 | | 4,6 | | pH |
| 0 | 0 | 0 | 0 | Ca ²⁺ |
| 2,83 | 0,408 | 2,5 | 0,548 | Mg ²⁺ |
| 0,02 | 0,009 | 0,01 | 0,000 | K ⁺ |
| 0,05 | 0,035 | 0,073 | 0,111 | Na ²⁺ |
| 0,333 | 0,052 | 0,267 | 0,052 | soma: S |
| 0,967 | 0,441 | 0,85 | 0,345 | Al ³⁺ |
| 1,433 | 0,509 | 2,467 | 0,441 | H ⁺ |
| 3,133 | 1,359 | 3,583 | 0,496 | soma: T |
| 0,925 | 0,236 | 1,25 | 0,173 | Corg |
| 0,15 | 0,058 | 0,2 | 0,000 | N |
| 7 | 3,651 | 6 | 1,155 | C / N |
| 1,5 | 0,548 | 1,167 | 0,408 | P assimilável |
| 164 | 43,3 | 259,8 | 27,79 | SiO ₂ |
| 226,5 | 28,75 | 238,8 | 8,539 | Al ₂ O ₃ |
| 39,5 | 12,91 | 120 | 8,679 | Fe ₂ O ₃ |
| 2,1 | 1,182 | 14,33 | 4,13 | TiO ₂ |
| 0,233 | 0,059 | 0,7 | 0 | K ₂ O ₅ |
| 0,05 | 0,071 | 0,2 | 0 | MnO |
| 1,218 | 0,198 | 1,845 | 0,159 | Ki = SiO ₂ /Al ₂ O ₃ |
| 1,098 | 0,188 | 1,395 | 0,101 | Kr = SiO ₂ /R ₂ O ₃ |
| 9,688 | 2,685 | 3,13 | 0,2 | Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ |
| 0,158 | 0,036 | 0,334 | 0,178 | Cdisp |

Caracterização - A caracterização geotécnica (granulometria, limites de liquidez e porosidade) seguiu as normas da ABMS. A mineralogia dos solos foi feita no CNPS, Embrapa-Solos. Medidas de carbono disponível (Cdisp) foram determinadas segundo o método de oxidação com permanganato de potássio.

O potencial microbiano de degradação foi avaliado por medidas de hidrólise de diacetato de fluoresceína), enquanto a atividade de incorporação de leucina tritiada forneceu informações sobre a capacidade de síntese protéica da microbiota. Medidas de biomassa bacteriana (Cmic) foram feitas pelo método de fumigação-extração.

(RESULTADOS) Os dados mostram a relação da biomassa e da atividade microbianas com teor, disponibilidade e utilização do C, assim como a relação entre sua distribuição nas duas feições e as características físico-químicas do solo.

As características físico-químicas das duas feições (tab.1) mostra as granulometrias diferenciadas que caracterizam as classificações de arenosa e siltosa. As diferenças observadas na mineralogia não se apresentam significativas em geral, com exceção do ferro e do Cdisp, mais importante na feição siltosa.

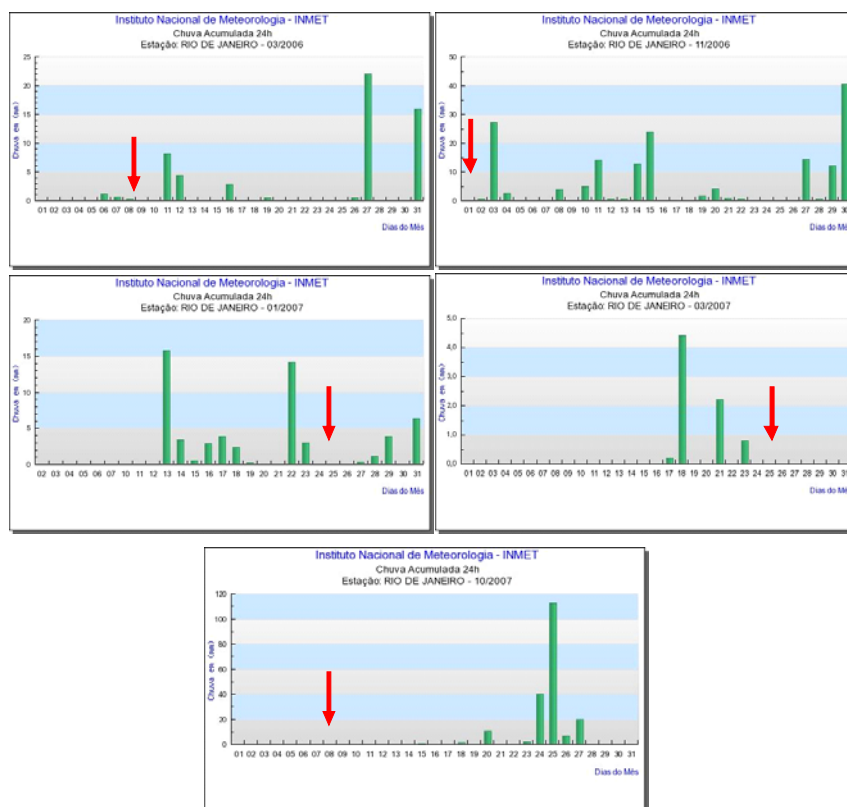


Figura 1 – Pluviosidade ao longo do estudo (as flechas indicam as datas de coleta) Fonte: INMET.

As variações climáticas ao longo dos dois anos (fig. 1), essencialmente, variações na pluviosidade e na temperatura externa, não parecem gerar modificações importantes nas características físico-químicas do solo. Épocas de precipitações intensas acarretam mudanças no teor de água dos solos (fig. 2), mais acentuadas e persistentes no siltoso visto sua menor porosidade. De fato, o solo arenoso é mais bem drenado, enquanto o solo siltoso tende a ficar mais saturado. A maior disponibilização do C na feição siltosa com o aumento da umidade (fig. 3), provavelmente ligada igualmente à maior quantidade de C total desse solo, não influencia significativamente a atividade da microbiota, como poderia ser esperado; de fato, a feição arenosa apresenta, proporcionalmente, maior aumento na atividade degradadora nos períodos de maior umidade no solo (fig. 4), aparentemente não relacionada, porém, a uma disponibilização do C como observado na feição siltosa. A atividade degradadora é, em geral, mais elevada no solo siltoso. Esses resultados indicam que a melhor drenagem do solo arenoso, devido a sua porosidade maior, estimula a atividade microbiana por possibilitar uma melhor oxigenação e maior aporte de nutrientes da superfície, enquanto o solo siltoso pode sofrer pouco aporte de oxigênio e nutrientes devido à maior retenção de água em seus poros (Blume et al., 2002; Ranjard & Richaume, 2001; Wang et al., 2003; Yang et al., 2005). A

atividade de síntese protéica (fig. 5), no entanto, se apresentou mais elevada na feição arenosa, e diminuída em ambas feições na época de chuva intensa (mar/07), sofrendo maior impacto na siltosa. Esse resultado vai ao encontro dos resultados anteriores, sugerindo maior drenagem do solo arenoso acarretando maior estímulo da microbiota, porém impacto do teor de umidade na atividade de síntese protéica. As medidas de biomassa (fig. 6), em geral mais elevadas na feição siltosa, mostram o efeito da umidade mas não apresentam correlação com o Cdisp. A feição arenosa, apesar de sua menor atividade degradadora, menor teor de C orgânico e de água, e menor biomassa, suporta uma microbiota mais eficiente na assimilação do C, o qual está proporcionalmente mais disponível e mais alocado na biomassa, conforme mostra o quociente microbiano (Qmic), fatores possivelmente ligados à melhor distribuição de ar, água e nutrientes proporcionada pela maior porosidade do solo.

A feição siltosa tende a reter a água, podendo levar à diminuição do fluxo de água e de oxigênio, assim como o aporte adequado de nutrientes carreados da superfície. Em períodos subseqüentes aos de maior umidade, o Qmic se apresenta similar nas duas feições, mesmo a biomassa e a atividade degradadora estando mais elevadas na feição siltosa.

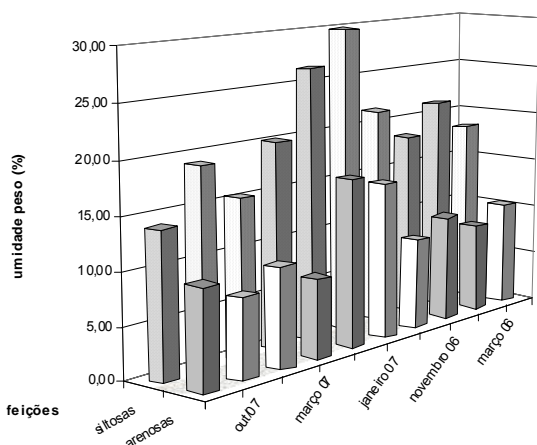


Figura 2 – Umidade em peso nas feições de solo.

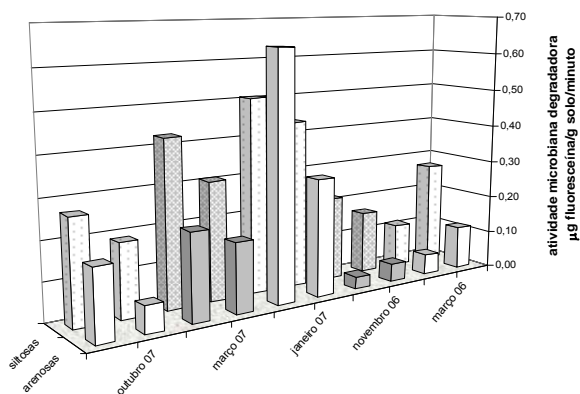


Figura 4– Atividade degradadora (hidrólise de FDA)

Tabela 2 – Quociente microbiano

| | arenosas | siltosas |
|------------|----------|----------|
| março 06 | 8,27 | 2,20 |
| março 07 | 1,24 | 1,70 |
| outubro 07 | 2,88 | 1,55 |

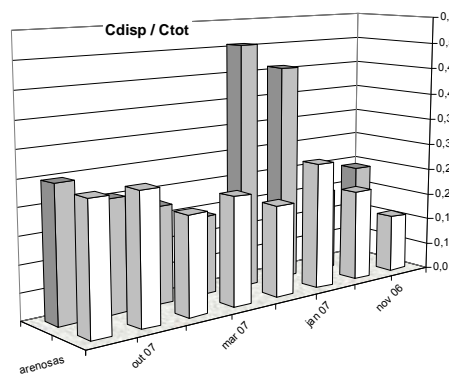


Figura 3 – Relação C disponível / C total

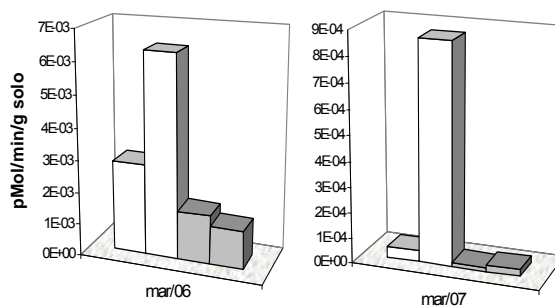


Figura 5– Atividade de síntese protéica (incorporação de leucina marcada)

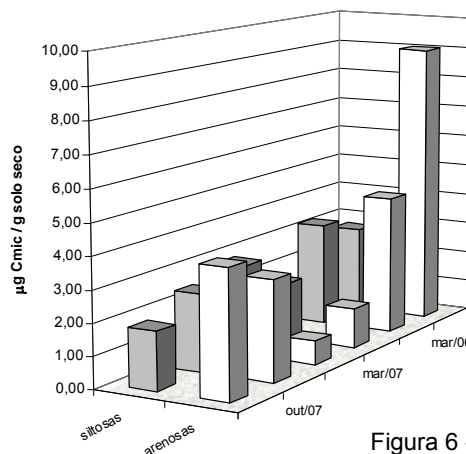


Figura 6 - Biomassa

(CONCLUSÕES) O estudo mostra que a granulometria do solo parece ser, na área estudada, o principal fator de influência sobre a distribuição e a intensidade da atividade microbiana, devido ao seu papel na retenção e circulação de água assim como na aeração das diferentes feições do solo. Assim sendo, a feição de solo mais arenosa, mesmo com menor quantidade de C orgânico e menor atividade microbiana, abriga uma população mais eficiente na utilização do carbono e sua incorporação na biomassa.

A integração de áreas ligadas ao meio ambiente, geotecnia, microbiologia, geologia, química e agronomia, mostra a importância dessas interfaces, enquanto estudos multi-disciplinares fornecem ângulos diversos para uma melhor compreensão dos processos ambientais.

(BIBLIOGRAFIA)

- Adam, G. & Duncan, H. (2001) Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biol. Biochem.* 33:943-951.
- Anderson, T.-H. (2003) Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 285-293.
- Blair, G.J., Lefroy, R.D.B. & Lisle, L. (1995) Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.* 46, 1459-1466.
- Blume, E., Bischoff, M., Reichert, J. M., Moorman, T., Konopka, A. & Turco, R. F. (2002) Surface and subsurface microbial biomass, community structure and metabolic activity as a function of soil depth and season. *Appl. Soil Ecol.* 20, 171-181.
- Brockman, F.J. & Murray, C.J. (1997) Subsurface microbiological heterogeneity: current knowledge, descriptive approaches and applications. *FEMS Microbiol Rev* 20, 231-247.
- Fredrickson, J. K., Li, S. W., Brockman, F. J., Haldeman, D. L., Amy, P. S. & Balkwill, D. L. 1995. Time-dependent changes in viable numbers and activities of aerobic heterotrophic bacteria in subsurface samples. *J. Microbiol. Meth.* 21, 253-265.
- Green V.S., Stott D.E., Diack M. (2006) Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. *Soil Biology & Biochemistry* 38 (2006) 693–701.
- Holden, P.A. & Fierer, N. (2005) Microbial processes in the vadose zone. *Vadose Zone J.* 4, 1-21.
- Jørgensen, R. G. & Brooks, R. G. (1990) Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biol. Biochem.* 22,1023-1027.
- Krumholz, L.R. (2000) Microbial communities in the deep subsurface. *Hydrogeol. J.* 8:4-10.
- Ladd, C.N., Foster, R.C., Nannipieri, P. & Oades, J.M. (1996) Soil structure and biological activity. In: G. Stotzky & J.-M. Bollag, eds., *Soil Biochemistry* vol. 9. Marcel Dekker, New York, pp23-78.
- Miranda, MR, Guimarães JRD, Coelho-Souza AS. (2007) [³H]leucine incorporation method as a tool to measure secondary production by periphytic bacteria associated to the roots of floating aquatic macrophytes. *Journal of Microbiological Methods* 71(1) 23-31.
- Mitchell, J.K. & Santamarina, J.C. (2005) Biological considerations in geotechnical engineering. *J. Geotechn. Geoenviron. Eng.* ASCE 31(10) 1222-1233.
- Österreicher-Cunha, P., Vargas Jr., E. A., Guimarães, J. R. D., de Campos, T. M. P., Nunes, C. M. F., Costa, A., Antunes, F. S., Pais da Silva, M. I. & Mano, D. M. (2004) Bioventing of a gasoline-ethanol contaminated undisturbed soil. *Journal of Hazardous Materials* 110, 63-76.
- Ranjard, L. & Richaume, A. (2001) Quantitative and qualitative microscale distribution of bacteria in soil. *Res. Microbiol.* 152, 707-716.
- Tirol-Padre A & Ladha, JK. (2004) Assessing the Reliability of Permanganate-Oxidizable Carbon as an Index of Soil Labile Carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:969–978
- Wang, WJ, Dalal, RC, Moody, PW & Smith, CJ. (2003) Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. *Soil Biol Biochem* 35, 273-284.
- Yang, C., Yang, L. & Ouyang, Z. (2005) Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes. *Geoderma* 124, 133-142.

Agradecimentos: A Amaury Fraga, pelo apoio no laboratório e no campo, e a Branca Delmonte e Márcio Miranda, nas análises de biomassa e leucina respectivamente. A: CNPq, Faperj, PRONEX.