



CARACTERIZAÇÃO DO SOLO PARA UTILIZAÇÃO COMO ÁREA DE CONTROLE DE VAZAMENTO NA ARMAZENAGEM DE CO₂

Catterina Bonato Kunzler – catterina.kunzler@acad.pucrs.br
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia
91410-330 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Gabriela Baldasso Bertoletti – Gabriela.gbb@hotmail.com
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia

Letícia Azambuja dos Santos Licks – leticia.licks@pucrs.br
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia

Claudio Luis Frankenberg – claudio@pucrs.br
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia

Resumo: Este trabalho tem como objetivo caracterizar físico-química e microbiologicamente o solo de uma área que será utilizada como laboratório de campo para experimentos de liberação controlada de CO₂, e para testes de técnicas de medição, monitoramento e verificação (MMV). As amostras foram coletadas no campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, em Viamão, através da tecnologia Direct Push Technology, juntamente com sondagem a trado oco helicoidal. As análises físico-químicas consistiram na medição do pH, determinação do teor de umidade e do teor de cinzas, e na granulometria do solo, apresentando resultados coerentes com a literatura. A análise microbiológica foi realizada a partir da metodologia do número mais provável de Unidades Formadoras de Colônias (UFC). A partir dessa análise, foi possível estimar o perfil comportamental dos microrganismos presentes no solo.

Palavras-chave: análise microbiológica, caracterização do solo, armazenagem de CO₂.

SOIL CHARACTERIZATION FOR USE AS LEAKAGE CONTROL AREA ON CO₂ STORARE

Abstract: The objective of this study was to characterize the physic-chemical and microbiological soil from an area that will be used as a field laboratory for controlled release of CO₂ experiments, and monitoring, verification and accounting (MMA) techniques testing. The samples were collected on the campus of Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), in Viamão, through Direct Push Technology along with hollow stem auger probing. The physical and chemical analysis consisted of measuring pH, determining the moisture and ash content, and soil particle size, presenting results consistent with the literature. The microbiological testing was performed using the methodology of the most probable number of Colony Forming Units (CFU). From this analysis it was possible to estimate the behavioral profile of the microorganisms in the soil.

Keywords: microbiological analysis, soil characterization, CO₂ storage.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas que vêm ocorrendo no mundo, em escala cada vez maior, estão diretamente relacionadas às emissões de gases de efeito estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), devido, sobretudo, ao uso excessivo de combustíveis fósseis. Grande parte destes gases é produzida pela natureza, mas o acréscimo gerado pelo aumento da demanda de energia primária no mundo está acarretando um desequilíbrio dos ciclos naturais do planeta (FBDS, 2009).

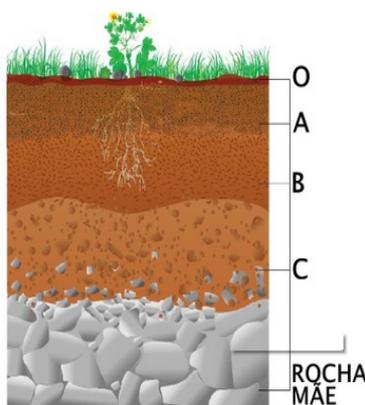
O projeto de Captura e Armazenamento Geológico de Carbono (*Carbon Capture and Geological Storage*, CCGS) é considerado como uma das opções para reduzir emissões atmosféricas de dióxido de carbono das atividades humanas. O princípio do CCGS é coletar o CO₂ produzido por fontes energéticas industriais e transportá-lo para um local de armazenamento adequado, longe da atmosfera por um longo período de tempo (IPCC, 2005).

Segundo Foltram (2011), apesar de serem promissoras, as tecnologias de captura e armazenamento de CO₂ não estão livres de riscos. Com o gás já armazenado, o problema passa a ser a possibilidade de vazamento.

Para garantir a confiabilidade e eficácia do armazenamento e minimizar os riscos de escape e impactos ambientais, destaca-se a importância da implantação e validação de técnicas de Medição, Monitoramento e Verificação (MMV) de CO₂ aplicadas ao *site* de estocagem (NETL, 2009). Para a implantação e desenvolvimento de um laboratório de campo, é necessário um estudo prévio do local onde serão conduzidos os experimentos de vazamento controlado de CO₂ (MELO, 2012). A caracterização do solo é fundamental para a determinação de possíveis mudanças ambientais passíveis à liberação do gás.

Pode-se dizer que o solo é composto por três fases bem distintas: gasosa, líquida e sólida (KIEHL *et al.* 1987). De acordo com Castilhos *et al.* (2004), diferentes condições ambientais formam solos de diferentes tipos, existindo uma grande variabilidade de tipos de solos, que possuem diferentes profundidades, cores, estrutura, textura, consistência, teores de nutrientes, acidez, matéria orgânica, entre outros. Essas diferenças entre tipos de solo podem ser estudadas a partir do perfil do solo, que consiste de um corte vertical que permite a observação da existência de camadas paralelas à superfície e denominadas de horizontes do solo, conforme a Figura 1.

Figura 1- Perfil com os horizontes do solo



Fonte: PENA (2015).

A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores (atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema). Os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. Os microrganismos se enquadram nesses critérios, podendo ser utilizados como sensíveis bioindicadores da qualidade do solo (DE ARAÚJO & MONTEIRO, 2007).

Segundo Costa (2004), as atividades dos diversos grupos de organismos do solo estão interligados entre si e com as condições de ambientes prevaletentes a cada momento, verificando-se



que a população microbiana se ajusta rapidamente às variações dessas condições. A ação microbiana do solo, depende, entre outros fatores, da temperatura, arejamento e condições de umidade e pH, reação e teor de elementos nutritivos, e da competição que se estabelece entre os próprios grupos de microrganismos.

Segundo Wang *et al.* (2014), diversos estudos sugerem que, a elevadas concentrações de CO₂, os microrganismos no solo são os primeiros a sentir os efeitos e, conseqüentemente, a se modificarem. Portanto, estudar a mudança dos microrganismos do solo, sob condições de alta concentração de CO₂, é uma maneira importante de avaliar as condições de escape e risco de projetos de Captura e Armazenamento de Carbono (*Carbon Capture and Storage*, CCS) quantitativamente.

Em condições ideais, as bactérias são os microrganismos com maior velocidade de crescimento, podendo apresentar um tempo de geração (tg) em média de 20 minutos. Entretanto, tal velocidade não é constante, havendo acentuadas variações, que irão depender da fase de crescimento em que se encontram e das condições do ambiente. Os parâmetros intrínsecos (inerentes ao solo) e os extrínsecos (inerentes ao ambiente), por conseguinte, determinam também a velocidade de multiplicação (HOFFMAN, 2001).

A constituição genética da comunidade microbiana do solo, modulada pelas condições ambientais e disponibilidade de substrato, garantem os diversos tipos de relações entre seus componentes, permitindo o controle do crescimento e a atividade de cada população, evitando a explosão populacional e gerando o equilíbrio microbiológico do solo. Desse modo, a existência de um microrganismo num determinado tempo e lugar, resulta da sua evolução naquele lugar, da existência de fatores físicos e químicos favoráveis ao seu desenvolvimento, da existência de microrganismos associados e de competidores, antagonistas e predadores. Portanto, as relações biológicas são fatores determinantes da densidade e atividade dos microrganismos no solo e podem ser benéficas, competitivas, antagonistas ou neutralistas (MICHEREFF *et al.*, 2001).

Pesquisas demonstram que as comunidades bacterianas não estão distribuídas aleatoriamente no solo. Padrões espaciais têm sido identificados na distribuição de bactérias e na função bacteriana em escalas de vários milímetros a vários metros (NUNAN *et al.*, 2003).

A abundância microbiana no solo é impulsionada principalmente pela distribuição espacial dos recursos disponíveis e, portanto, com o declínio da concentração de carbono (C) no solo, a abundância microbiana normalmente diminui com a profundidade. Próximo a superfície do solo, há suprimentos de C acima e abaixo da biomassa vegetal, provendo substrato para uma abundante e ativa comunidade microbiana. Visto que a absorção de C diminui com a profundidade, os recursos disponíveis para apoiar o crescimento e atividade microbiana também sofrem declínio (HELGASON *et al.*, 2014).

Este trabalho tem como objetivo verificar o comportamento microbiológico do solo em diferentes profundidades e analisar as características físico-químicas de uma área que poderá ser utilizada como laboratório de campo para experimentos de liberação controlada de CO₂ e testes de técnicas de Medição, Monitoramento e Verificação (MMV).

2. METODOLOGIA

As amostras de solo foram coletadas no campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), no município de Viamão. Ao todo, foram perfurados seis pontos cujas localizações podem ser verificadas na Tabela 1.



Tabela 1- Localização dos pontos de perfuração do solo

Ponto	Coordenadas UTM		Projeção Geográfica						Elevação Ortométrica Metros
	Este	Norte	Latitude			Longitude			
	Metros	Metros	Grau	Minuto	Segundo	Grau	Minuto	Segundo	
1	494304,171	6671940,012	-30	5	1,27014	-51	3	32,78089	103,61
2	494327,834	6671963,697	-30	5	0,50107	-51	3	31,89644	101,47
3	494351,638	6671938,358	-30	5	1,32470	-51	3	31,00767	101,99
4	494328,383	6671928,258	-30	5	1,65244	-51	3	31,8766	102,48
5	494305,505	6671964,774	-30	5	0,46571	-51	3	32,73056	103,19
6	494319,950	6671912,237	-30	5	0,17276	-51	3	32,19195	103,23

Cada ponto de amostragem foi perfurado a partir da superfície até a rocha mãe, o que ocasionou diferentes alturas de perfuração.

A tecnologia utilizada para a perfuração foi a *Direct Push Technology*, juntamente com sondagem a trado oco helicoidal, a fim de evacuar à superfície amostras de solo que foram coletadas. *Direct Push Technology* é uma técnica de sondagem à percussão que consiste em uma máquina de impulso direto, que opera a seco (sem fluido de perfuração), contendo um amostrador tubular de pequeno diâmetro, provido de um *liner* plástico em seu interior (onde a amostra de solo fica retida) e de uma ponteira cônica maciça que perfura o solo (MONDELLI, 2004). Para fins de análise deste trabalho, não foram utilizadas as amostras de solo contidas no *liner* da técnica de DPT.

Todas as amostras de solo coletadas foram colocadas em saco plástico vedado e encaminhadas para o Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) da Faculdade de Engenharia da PUCRS, em Porto Alegre, onde foram armazenadas e caracterizadas.

O material coletado destinado à análise físico-química foi guardado em local com temperatura controlada ($23 \pm 3^\circ\text{C}$) e as amostras destinadas à análise microbiológica permaneceram congeladas em um *freezer* a -30°C .

2.1. Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas, realizadas em duplicata, consistiram na medição do pH, determinação do teor de umidade, determinação do teor de cinzas e análise granulometria.

O pH das amostras foi obtido a partir da ASTM D4972-13 (2013) e classificado de acordo com a escala de Prato Longo, disponível na Tabela 2.

Tabela 2- Escala de Prato Longo

pH do solo	$\leq 4,5$	4,6 – 5,5	5,6- 6,5	6,6- 7,5	7,6- 8,5	8,6- 9,5	$\geq 9,6$
Designação	Hiperácido	Ácido	Subácido	Neutro	Subalcalino	Alcalino	Hiperalcalino

Fonte: COSTA (2004).

O teor de umidade do solo amostrado foi determinado pela remoção de água por aquecimento de acordo com a Norma DNER-ME 213/94 (1994). Os recipientes utilizados passaram por um processo de secagem até atingirem peso constante livre de umidade. Para as amostras úmidas foi adotada a massa mínima de 10 gramas devido à falta de informação do tamanho máximo das partículas. As amostras foram aquecidas em estufa (Biomatic de referência 363) a 110°C e pesadas em balança analítica de marca Shimadzu modelo AY220.

O teor de umidade das amostras pode ser calculado a partir da Equação 1:



$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100 \quad (1)$$

onde h é o teor de umidade em porcentagem, m_{bu} é a massa bruta úmida em gramas correspondente à massa do recipiente mais a amostra de material úmido, m_{bs} é a massa bruta seca em gramas correspondente à massa do recipiente mais a amostra de material seco em gramas e m corresponde à massa do recipiente, também em gramas.

Após a secagem, as amostras retornaram ao aquecimento, a uma temperatura de 440°C, para determinar o teor de cinzas por ignição. Foi adotado como procedimento de referência o Método C da ASTM D2974-14.

O teor de cinzas (T.C) obtido a partir da Equação 2.

$$T.C, \% = \frac{B}{C} \times 100 \quad (2)$$

onde C é a massa de cinzas em gramas e B a massa do recipiente em gramas.

A quantidade de matéria orgânica (M.O) foi determinada através da diferença do teor de cinzas, de acordo com a Equação 3.

$$M.O, \% = 100 - T.C \quad (3)$$

Para realizar a análise granulométrica do solo, foram misturadas porções de pesos iguais de amostras do mesmo ponto de perfuração e diferentes alturas. Antes do peneiramento, a amostra de solo já misturada passou por um processo de secagem em estufa pelo período de duas horas a 110°C. O solo seco foi levado a um vibrador de peneiras marca Bertel constituído por oito peneiras da série ASTM de diâmetros de abertura diferentes, onde permaneceu por vinte minutos até a separação de partículas em diversas frações.

A classificação das frações granulométricas da amostra de solo foi realizada a partir da Escala Internacional de Classificação das Frações Granulométricas, conforme Tabela 3.

Tabela 3- Escala Internacional de Classificação das Frações Granulométricas

Nome da Fração Granulométrica	Limite do Diâmetro (mm)
Cascalho	20-2
Areia Grossa	2-0,2
Areia Fina	0,2-0,02
Silte	0,02-0,002
Argila	<0,002

Fonte: KIEHL *et al.*, (1987).

2.2. Análise Microbiológica

Para a análise microbiológica, foram escolhidos quatro pontos representativos do solo amostrado (pontos 3, 4, 5 e 6 - ver Tabela 1). Cada ponto foi analisado em duplicata, em três diferentes alturas: superficial, intermediária e junto à rocha mãe.

A análise microbiológica foi realizada através de diluições decimais em série até 10⁻⁴ adaptadas de Martins (2002). Para compor a diluição inicial, foram transferidos 10 g de solo à 100 mL de solução salina de cloreto de sódio a 0,85%. A solução permaneceu em agitação em um agitador mod.109 a 100 RPM durante 30 minutos. As diluições posteriores foram obtidas transferindo-se 1 mL da solução inicial para tubos de ensaio contendo 9 mL de solução salina, seguida de agitação para homogeneizar a suspensão antes de proceder a diluição seguinte. Foram retiradas alíquotas de 0,1 mL das diluições 10⁻², 10⁻³ e 10⁻⁴ e inoculadas em meio de cultura de acordo com o método de Contagem de Heterotróficos adaptado da APHA (1998).

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES

As placas permaneceram a 30°C em estufa por um período de até sete dias e as contagens das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) foram realizadas durante esses sete dias. O número de bactérias totais foi estimado pela média aritmética das contagens de cada diluição e expresso de acordo com a Equação 4.

$$\frac{UFC}{mL} = \frac{\text{Número de colônias contadas}}{\text{Volume real de amostra na placa (mL)}} \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análises Físico-Químicas

Os resultados físico-químicos obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados das análises físico-químicas

Código da Amostra	Altura (m)	pH	Umidade (%)	Cinzas (%)	Matéria Orgânica (%)
A6	0 a 1,15	6,62	12,97	97,01	2,99
B6	1,50 a 2,65	4,96	16,55	95,91	4,09
C6	3,0 a 4,15	4,95	17,49	95,11	4,89
D6	4,50 a 5,65	5,35	17,01	97,12	2,88
E6	6,0 a 7,15	5,59	16,53	98,25	1,75
F6	7,50 a 8,65	5,56	19,07	97,94	2,06
G6	9,0 a 10,15	5,49	16,27	96,87	3,13

O pH variou de 4,95 à 6,62. De acordo com a escala de Pralongo, a amostra A6 foi classificada como neutra, e as demais amostras B6, C6, D6, E6, F6, e G6 como ácidas.

Foi observado que o teor de umidade e a quantidade de matéria orgânica não se distribuem uniformemente ao longo das alturas de perfuração. Analisando a porcentagem representativa de ambos, o solo amostrado pode ser considerado como mineral, conforme descrito no item 2.2 deste trabalho.

As frações granulométricas obtidas através das oito peneiras de diâmetros de abertura diferentes estão classificadas na Tabela 5, onde foi constatado que 72% da amostra de solo é constituída de areia grossa e o restante é cascalho.

Tabela 5- Classificação das frações granulométricas obtidas

Peneira ASTM		Composição Granulométrica			
Mesh	Diâmetro (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Classificação
6	3,35	86,80	28,00	28,00	Cascalho
9	2,0	58,56	18,89	46,90	Areia Grossa
12	1,4	39,90	12,87	59,77	Areia Grossa
16	1,0	36,56	11,80	71,57	Areia Grossa
24	0,710	26,73	8,62	80,19	Areia Grossa
32	0,500	16,00	5,16	85,35	Areia Grossa
42	0,355	16,56	5,34	90,70	Areia Grossa
60	0,250	10,96	3,54	94,23	Areia Grossa
-	Panela	17,88	5,77	100,00	Areia Grossa
-	Total	309,95	100,00	100,00	-

3.2 Análises Microbiológicas

O perfil comportamental de crescimento dos microrganismos nos pontos 3, 4, 5 e 6 em diferentes profundidades, em relação ao período de análise, pode ser avaliado nas Figuras 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Figura 2 - Crescimento do número UFC/mL do ponto 3 em diferentes alturas

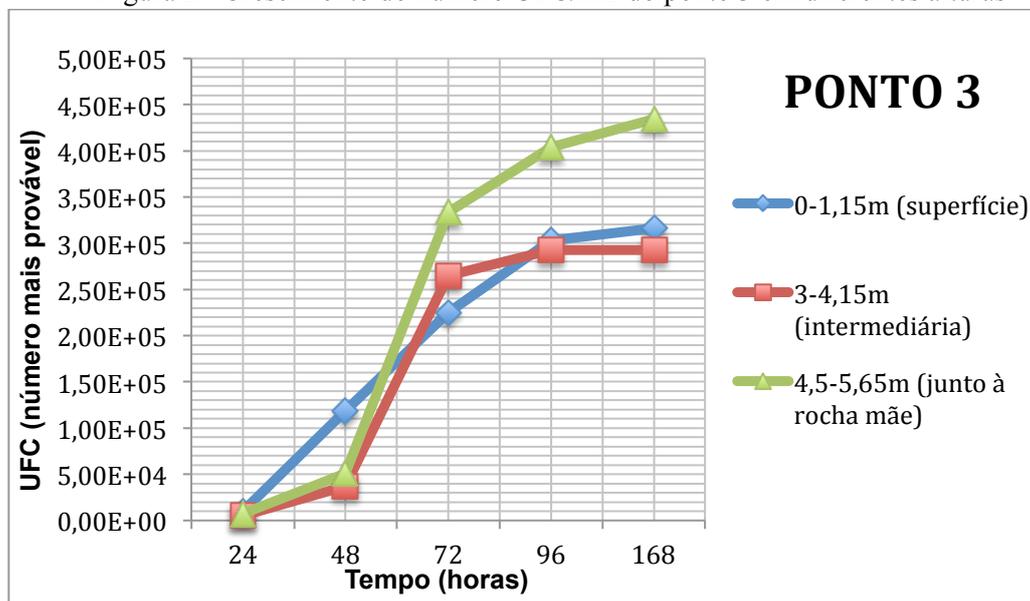


Figura 3 - Crescimento do número UFC/mL do ponto 4 em diferentes alturas

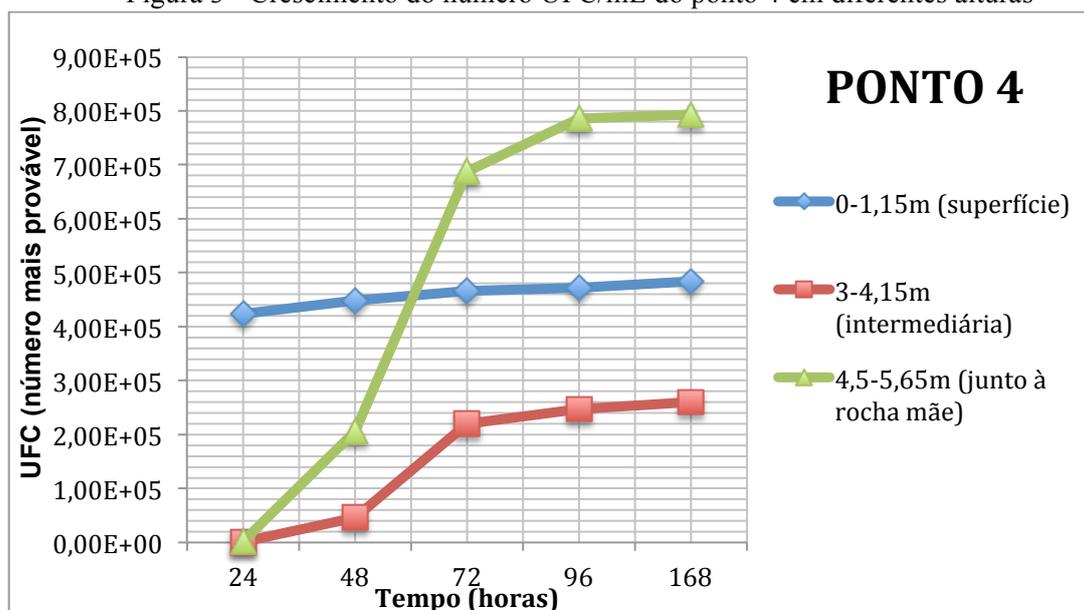


Figura 4 - Crescimento do número UFC/mL do ponto 5 em diferentes alturas

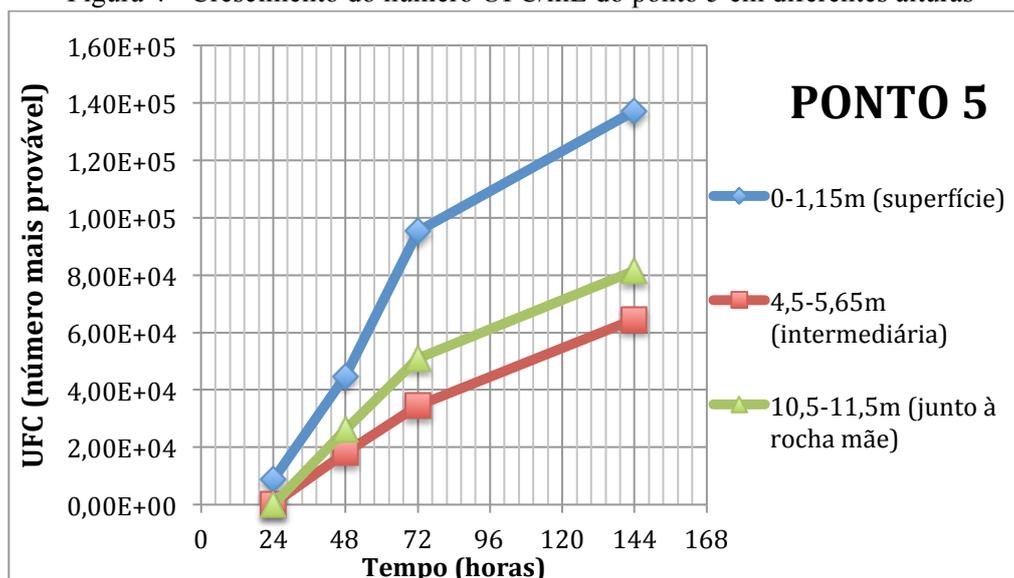
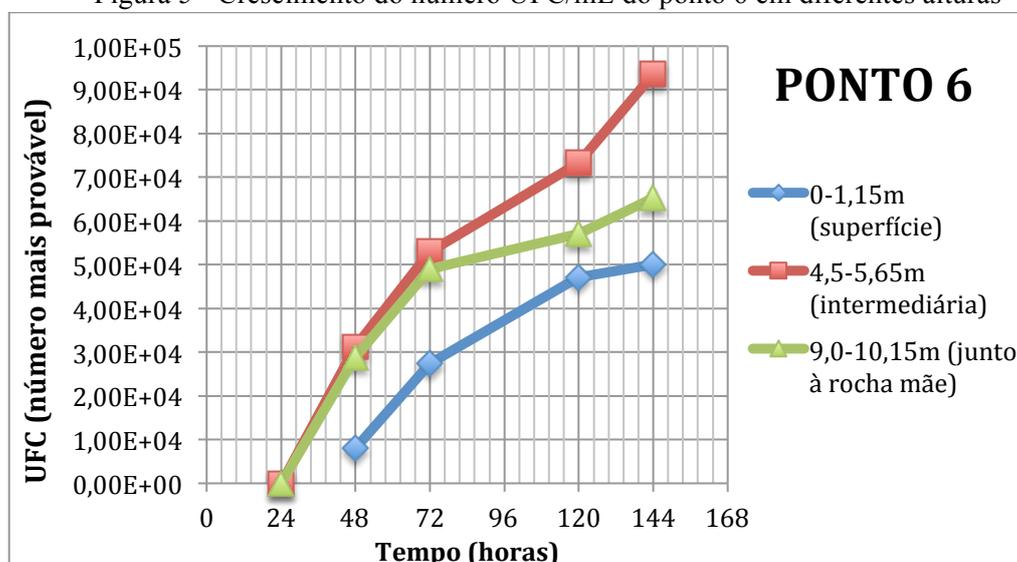


Figura 5 - Crescimento do número UFC/mL do ponto 6 em diferentes alturas



Foi observado que, na comunidade microbiana do solo, ocorre um aumento no número de colônias com o passar dos dias. Além disso, as amostras do solo perto à rocha mãe e na altura intermediária obtiveram um crescimento de microrganismos diferenciado em relação às amostras da superfície. Após 2 dias de contagem, ocorreu um acréscimo significativo no número de colônias no solo junto à rocha mãe e na altura intermediária. Isso pode ser explicado pelo fato desses microrganismos estarem submetidos a uma diferença de oxigenação durante a análise. Esses microrganismos estão em regiões mais profundas do solo; portanto, tem menos oxigênio, quando comparadas a superfície, por isto os organismos desses microrganismos necessitam se adaptar a esse diferencial de oxigênio para depois se desenvolverem e se multiplicarem. As amostras da superfície mantém uma linearidade no aumento de suas colônias, já que essas não necessitam de um tempo de adaptação.

Nos pontos 3 e 4, foram encontrados maior número de microrganismos na altura junto à rocha mãe, alcançando em sete dias os valores de $4,34 \times 10^5$ e $7,93 \times 10^5$ UFC/mL respectivamente. A amostra da superfície do solo nestes pontos apresentou valores de $3,16 \times 10^5$ e $4,84 \times 10^5$ UFC/mL também no período de sete dias. No ponto 6 se obteve um comportamento parecido, sendo encontrado



o maior número de microrganismos na altura intermediária e o menor número, na superfície. Os valores apresentados nessas alturas foram, respectivamente, de $9,35 \times 10^4$ e $5,28 \times 10^4$ UFC/mL no período de seis dias. Este comportamento não é o esperado, pois, na superfície, existem mais bactérias que nas camadas mais profundas devido a maior acessibilidade aos nutrientes. Porém, pela existência de caminhos preferenciais no solo, as camadas mais profundas podem receber os suprimentos necessários para abrigarem microrganismos e apresentarem um grande número de bactérias. No ponto 4, nas camadas intermediária e junto com a rocha mãe foram encontrados actinomicetos.

No ponto 5, a amostra da superfície apresentou maior número de microrganismos, atingindo $1,37 \times 10^5$ UFC/mL ao longo dos seis dias. Esse comportamento era o esperado, visto que, na região próxima a rizosfera, é onde se encontram quantidades significativas de microrganismos devido à matéria orgânica presente. As camadas junto à rocha mãe e intermediária revelaram comportamento diferenciado dos pontos 3, 4 e 6 e alcançam o valor de $8,15 \times 10^4$ e $6,45 \times 10^4$ UFC/mL, respectivamente, no último dia.

3. CONCLUSÃO

As análises físico-químicas e microbiológicas obtiveram os resultados esperados, possibilitando caracterizar este solo e obter um perfil comportamental, em diferentes profundidades, dos microrganismos existentes no solo. Para uma caracterização e identificação dos principais microrganismos existentes no solo é necessário a utilização de análises mais robustas como as técnicas de DNA *fingerprint*.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLISH HEALTH ASSOCIATION- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Part 9000. NT 9215. American Water Works Association. Water Environment Federation. 20th Ed. 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS –ASTM. **Standard Test Method for pH of Soils**. ASTM D4972-13. West Conshohocken, PA, USA. 2013

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS –ASTM. **Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils**. ASTM D2974-14. West Conshohocken, PA, USA. 2014

CASTILHOS, Danilo Dufech., *et. al.* **Fundamentos de Química Do Solo**. 2ª edição. Porto Alegre. 2004.

COSTA, Joaquim Botelho da. **Caracterização e Constituição do Solo**. 7ª edição. Lisboa. Editora da Fundação Calouste Gulbenkian. 2004.

DE ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira; MONTEIRO, Regina Teresa Rosim. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM- DNER. **Solos Determinação do Teor de Umidade**. DNER- ME 213/94. 1994.

FOLTRAM, Rafael. **Estoca-se Gás Carbônico**. Instituto Ciência Hoje- ICH. 2011. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2011/04/estoca-se-gas-carbonico/>>. Acesso em 18 de maio de 2015.



FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL –FBDS. **1º Seminário Brasileiro sobre CSS- Carbon Dioxide Capture and Storage: Um debate sobre os desafios dessa nova tecnologia.** 2009. Disponível em:

<<http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-506.pdf>>. Acesso em 19 de março de 2015.

HELGASON, B. L. et al. Microbial distribution in an eroded landscape: buried A horizons support abundant and unique communities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 196, p. 94-102, 2014.

HOFFMANN, Fernando Leite. Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em alimentos. **Brasil Alimentos, São Paulo**, v. 9, n. 1, p. 23-30, 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC. **IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage.** Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York. 2005.

KIHEL, Jorge de Castro, *et. al.* **Fertilidade do Solo.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. USP. Piracicaba, São Paulo. 3ª edição. 1987.

MARTINS, Kennedy Fernandes. **Derterminação da População de Fungos e Bactérias do Solo Contaminado com Petróleo e Armazenado sob Refrigeração e Congelamento.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2002.

MELO, C. L. **Técnicas de Monitoramento para Armazenamento Geológico de CO2.** I Curso Básico- Compreendendo a Captura e o Armazenamento de Carbono. 2012. Disponível em: <http://www.pucrs.br/cepac/download/1ccac/16_Monitoramento_CO2_Superficie_-_Clarissa_Melo.pdf>. Acesso em 27 de março de 2015.

MICHEREFF, Sami J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, Maria. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais.** Universidade Federal e Rural de Pernambuco, 2005.

MONDELLI, Giulliana. **Investigação Geoambiental em Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando a Tecnologia do Piezocone.** São Paulo. 2004.

NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY- NETL. **Best Practices for: Monitoring, Verification Accounting of CO2 Stored in Deep Geologic Formations.** DOE/NTEL-311/081508. 2009. Disponível em: <http://www.fundacionprocienciasdelatierra.org/workshopCO2/_files/Referencias/NETL_Best%20Practices_MVA.pdf>. Acesso em 05 de abril de 2015.

NUNAN, Naoise et al. Spatial distribution of bacterial communities and their relationships with the micro-architecture of soil. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 44, n. 2, p. 203-215, 2003.

PENA, Me. Rodolfo Alves. **Solo- Geografia Física.** 2015. Disponível em: <<http://www.brasile scola.com/geografia/o-solo.htm>>. Acesso em 06 de junho de 2015.

WANG, Sha et al. Simulation Experiment Research of the Impact of CO 2 Leakage from Geological Storage on Soil Microbes. **Energy Procedia**, v. 63, p. 3220-3224, 2014.