

**DISTRIBUIÇÃO DE POROS EM SOLO ATRAVÉS DA
MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA 3D DE RAIOS X: ÁREA
COBERTA POR GRAMÍNEAS**

Marcelo Wermelinger Aguiar Lemes¹; Beatriz Oliveira de Sousa Silva²; Bianca Cristina do Nascimento³ e Thayane Priscilla Rocha Neves de Souza⁴

Resumo – Os solos são formados por um conjunto de aglomerados minerais e orgânicos, partículas com água, ou outro líquido, e ar nos espaços intermediários (os poros). Estes são cavidades, que em função do arranjo espacial entre as partículas sólidas possuem diferentes geometrias, tamanhos e distribuições, que constituem uma parcela volumétrica do solo, onde se acomodam soluções de água, ar e nutrientes. O espaço poroso do solo também influencia seu comportamento físico-hídrico, pois interfere na aeração, percolação de água, coesão das partículas, resistência a penetração e ramificação das raízes no solo e conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis. Diversas técnicas podem ser usadas para análise do índice de porosidade do solo. Na busca de complementar e/ou adicionar novos dados sobre latossolos, aparece a microtomografia computadorizada (microCT) como uma nova técnica não invasiva e rápida. A microCT vem se sobressaindo no âmbito internacional sendo cada vez mais inserida em análise de solos. As análises obtidas através da microCT permitem aquisições de dados em microescalas, de forma, tamanho, distribuição, volume, área e conectividade dos poros, assim como imagens em 3D da amostra e sua estrutura. O objetivo deste trabalho é transparecer a utilização de microCT para analisar a distribuição de porosidade e a densidade de conectividade dos poros de um latossolo com cobertura vegetal. Amostras indeformadas do solo foram coletadas para estudo e os resultados mostraram que a técnica microCT é uma ferramenta eficiente e não destrutiva para a análise e caracterização da estrutura dos poros de solos protegidos por cobertura vegetal.

Abstract – The soils are formed by a set of mineral and organic clusters, particles with water, or other liquid, and air in the intermediate spaces (the pores). These are cavities, which due to the spatial arrangement between the solid particles have different geometries, sizes and distributions, which constitute a volumetric portion of the soil, where water, air and nutrients solutions are accommodated. The pore space of the soil also influences its physical-water behavior, as it interferes with aeration, water percolation, particle cohesion, resistance to penetration and branching of the roots in the soil and, consequently, the use of available water and nutrients. Several techniques can be used to analyze soil porosity index. In order to complement and/or add new data on Feralsol, computerized microtomography (microCT) appears as a new non-invasive and rapid technique. The microCT has been standing out in the international scope being increasingly inserted in soil analysis. The microCT analysis allows the acquisition of data in microscales, shape, size, distribution, volume, area and connectivity of the pores, as well as 3D images of the sample and its structure. The objective of this work is to show the use of microCT to analyze the porosity distribution and the connectivity density of the pores of a latosol with vegetal cover. Undeformed soil samples were collected for study and the results showed that the microCT technique is an efficient and non destructive tool for the analysis and characterization of the pore structure of soils protected by vegetation cover.

Palavras-Chave – Porosity of soil; Feralsol; Computerized 3D Microtomography.

¹ Doutorando em Geografia Universidade Federal Fluminense, Professor e Bolsista Produtividade Universidade Estácio de Sá, (21) 34699229; marcelowlemes@hotmail.com

² Acadêmica em Engenharia Civil, Universidade Estácio de Sá, (21) 4003-6767, biasousasilva@yahoo.com.br

³ Acadêmica em Engenharia Civil, Universidade Estácio de Sá, (21) 4003-6767, bia.nascimento.c@gmail.com

⁴ Acadêmica em Engenharia Civil, Universidade Estácio de Sá, (21) 4003-6767, thyanepicilla@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada foi inicialmente desenvolvida na Inglaterra pelo engenheiro Godfrey Newbold Hounsfield, o que lhe rendeu o prêmio Nobel de Medicina em 1979, juntamente com o físico sul africano, naturalizado americano, Allan Macleod Comarck. Desde então, com o avanço da tecnologia, surgiram os equipamentos de microCT, que permitiram análises da estrutura interna de objetos em redução de escala que pudesse fornecer dados que atingiam resoluções de ordem micrométrica, permitindo um maior detalhamento em imagens. Essa evolução permitiu que a técnica de microtomografia computadorizada (microCT) se expandisse para outras áreas, abrindo um vasto leque de pesquisa e aplicações industriais.

A microCT permite a análise de milhares de planos/seções, visualização tridimensional interno do material em estudo, permitindo que a amostra de solo não sofra degradação, como acontece em métodos destrutivos. Essa técnica tem suas raízes, com a maioria das aplicações iniciais voltadas para área médica. Porém, os benefícios de se obter mapas tridimensionais levaram a uma rápida adaptação da técnica em outras áreas, incluindo estudos geológicos. Atualmente essa técnica se faz presente em importantes centros de pesquisas do país e do mundo, voltada para análise estrutural e morfológica, entre outras áreas do conhecimento.

A radiação eletromagnética, independe da posição onde o espectro se encontre. Pode ser caracterizada pelo comprimento de onda (λ), frequência (ν) e energia (E). Os raios X, que são um tipo de radiação eletromagnética, são gerados quando elétrons são acelerados por um campo elétrico em direção a um alvo metálico e ao interagir com material são desacelerados.

(Pinto, 2006) descreve, o objetivo da classificação dos solos é poder estimar o provável comportamento desse recurso ou, pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema. Os solos têm origem da decomposição, física ou química, das rochas que formavam inicialmente a crosta terrestre. Existem diversas formas de classificar os solos, como pela sua origem, pela sua evolução, pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura, pelo preenchimento dos vazios. Os sistemas de classificação destes não tem uma maneira sucinta de relatar sua experiência, senão afirmar que, ao aplicar um tipo de solução, obtiveram certo resultado, num determinado tipo de solo.

Os poros são cavidades, que em função do arranjo espacial entre as partículas sólidas possuem diferentes geometrias, tamanhos e distribuição, que constituem uma parcela volumétrica do solo, onde se acomodam soluções de água, ar e nutrientes. O espaço poroso do solo também influencia seu comportamento físico-hídrico, pois interfere na aeração, percolação de água, coesão das partículas, resistência a penetração e ramificação das raízes no solo e conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis.

Diversas técnicas podem ser usadas para análise do índice de porosidade do solo, na busca de complementar e adicionar informações que deem subsídio ao pesquisador, buscou-se na microCT uma possibilidade de técnica não invasiva, rápida e que vem se sobressaia no âmbito internacional. A análise de solo através da microCT permite a aquisição dados em microescalas, de forma, tamanho, distribuição, volume, área e conectividade dos poros, assim como aquisição de imagens em 3D, da amostra e sua estrutura. Fornece imagens de alta resolução com um conjunto de dados de volume de uma amostra controlada que não necessita de modificação e nenhum método de preparação. Seu princípio físico é baseado na atenuação dos raios X, que são um tipo de radiação eletromagnética. Quando eles interagem com o objeto, são modulados de acordo com as características físicas. O objetivo deste trabalho é a utilização de microCT para observar a porosidade, a distribuição e a densidade dos poros e conectividade de um Latossolo com cobertura vegetal de gramíneas (*brachiaria decumbens*).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O trabalho desenvolveu-se em uma encosta dentro dos limites da Microbassia Córrego do Espinho, que tem uma área total de 9,14 km² localizada na fazenda Paiol de Agricultura, onde são desenvolvidas atividades agrícolas relacionadas ao melhoramento genético de bovinos e gado leiteiro. A área está localizada no município de Silva Jardim, Estado do Rio de Janeiro, e o acesso ocorre pela BR 101, km 224 norte. (Figura 1).

Mapa de Localização da Microbacia Córrego do Espinho

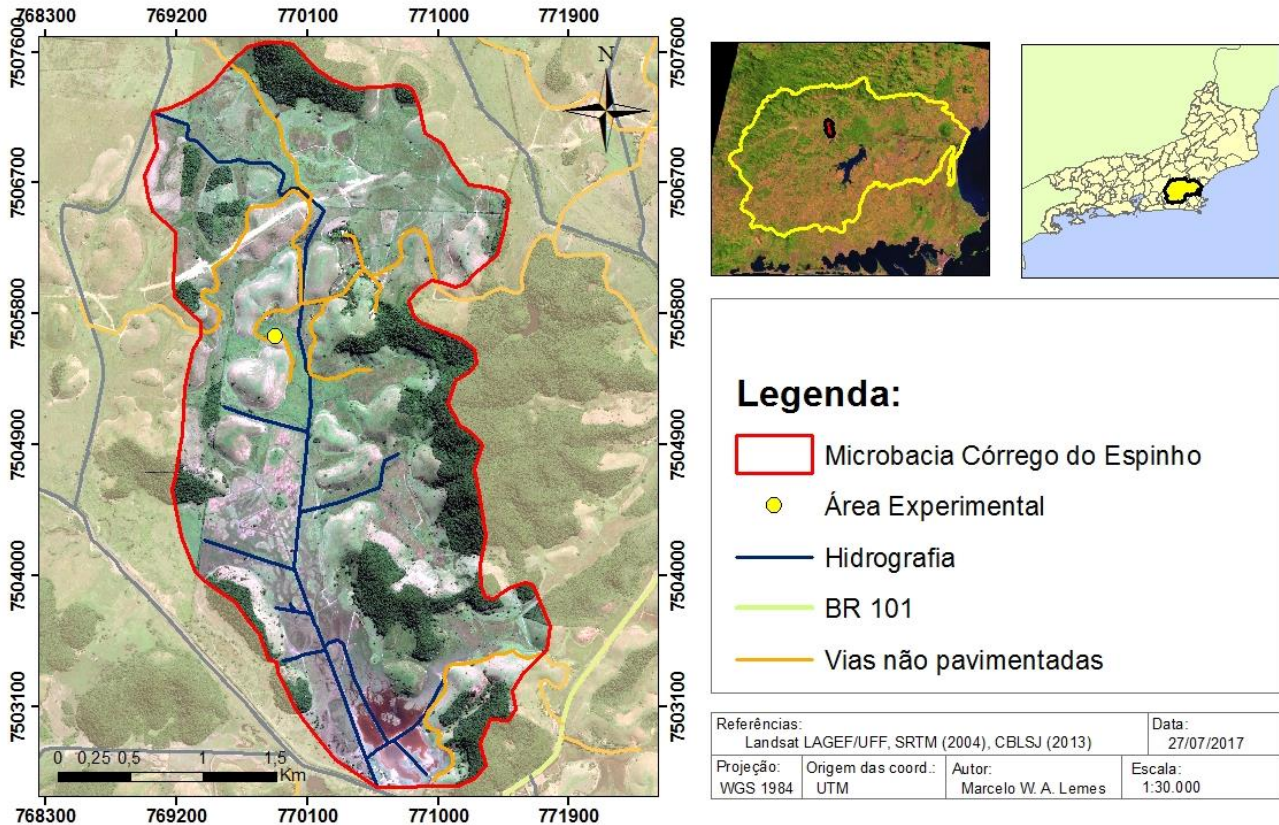


Figura 1. Mapa de localização onde as rotas de acesso, a hidrografia e a delimitação do Microbacia Córrego do Espinho.

2.1. Coleta de amostras

As amostras para os ensaios de microCT foram coletadas em uma colina dissecada dentro dos limites estabelecidos por parcelas de erosão (A) que são utilizadas para estudos sobre erosão. Foi coletada uma amostra indeformada na parcela com cobertura de gramíneas (GR), utilizando tubos acrílicos de 50 mm de altura e 32 mm de diâmetro (B). (Figura 2).

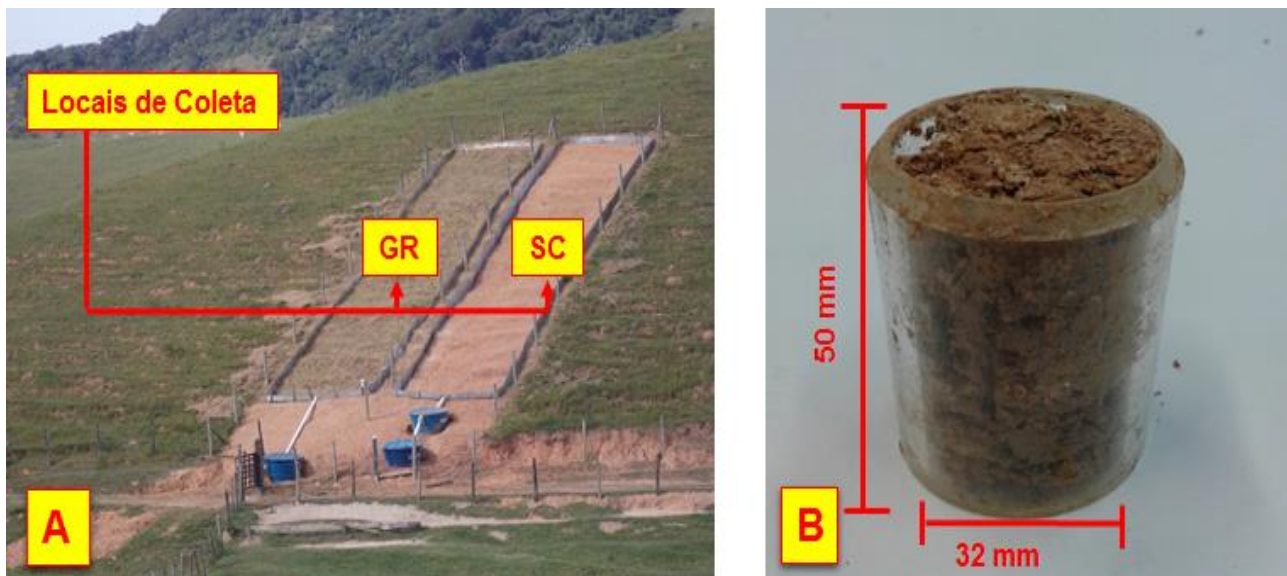


Figura 2. Procedimentos de coleta de amostras.

2.3. Aquisição microtomográfica

As amostras foram digitalizadas em um sistema de alta energia - Skyscan / Bruker, modelo 1173. A Figura 3 mostra a configuração experimental do microCT. O sistema opera com

tensão e corrente de 130 kV e 61 μ A, respectivamente. Um detector de tela plana (2240 x 2240 pixels) foi usado para registrar a transmissão do feixe de raios-X. Após a aquisição, a imagem é capturada e reconstruída usando o algoritmo de reconstrução do FDK, (Feldkamp *et al.*, 1984).

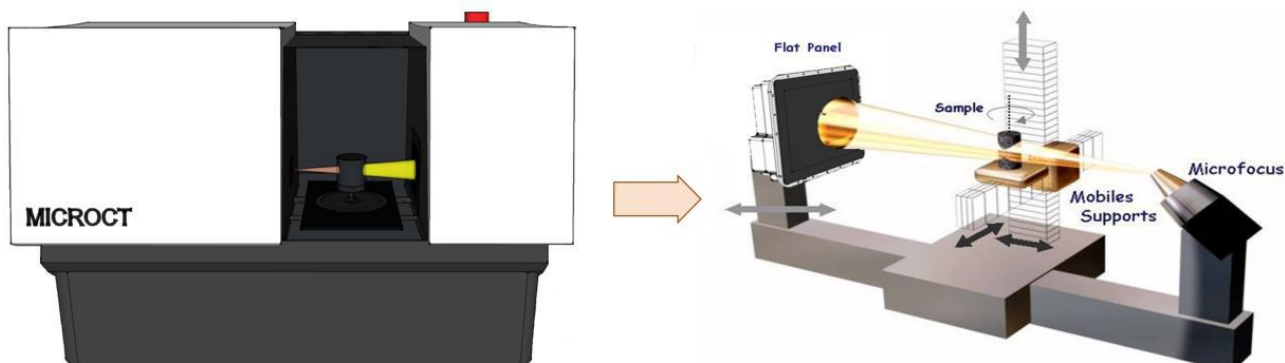


Figura 3. ilustração de instalação experimental MicroCT.

Após a reconstrução foram construídos modelos 3D destacando o espaço poroso versus a matriz do solo. Então, a porosidade total e a densidade de conectividade entre os poros foram medidas. Para essas análises quantitativas, o primeiro passo é determinar a região de interesse (ROI) e/ou o volume de interesse (VOI), representados respectivamente em duas e três dimensões. O ROI relaciona-se com uma seção transversal onde a análise 2D será realizada, enquanto VOI se relaciona com a soma de todas as seções transversais que representam um volume 3D. No entanto, não existe nenhuma lei usada para determinar a segmentação (valor limiar), (Gonzalez & Woods, 2002).

No presente estudo, foi eleito o uso de uma segmentação do método adaptativo, que para cada voxel (pixel da imagem da microCT), o limite é calculado como a média de todas as tons de cinza de pixel / voxel dentro de um raio selecionado. Desta forma, a imagem binária é obtida, com os objetos (matriz do solo) em branco e o fundo (poro) em preto. Assim, foi possível quantificar a porosidade total e a densidade de conectividade. O esquema dessa segmentação é mostrado na Figura 4.

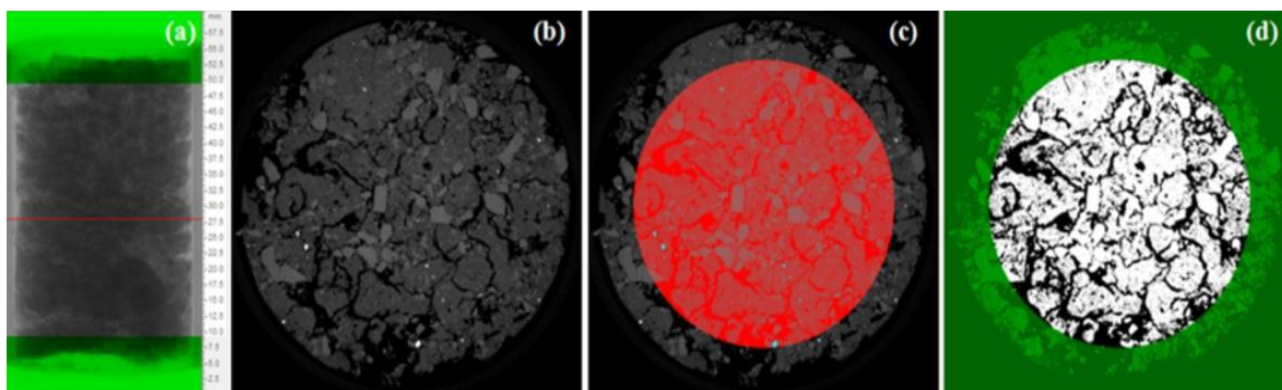


Figura 4. Segmentação do método adaptativo: (a) mostra a projeção; (b) mostra uma fatia; (c) mostra a mesma fatia com ROI enfatizando em vermelho e (d) imagem segmentada.

2. COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DOS SOLOS ESTUDADOS

Os diâmetros dos poros do solo analisados foram classificados de acordo com Brewer (1964) que definem microporos os espaços com diâmetros menor que 0,03mm e macroporos maiores que esse valor. O solo estudado apresentou uma porosidade total de 36,71%, um valor considerado médio para os padrões estabelecidos por Morais (2011), a densidade de conexão entre esses poros, que é muito importante para estudos em casos de contaminação apresentou um valor de 508,63 mm^{-3} , isso, segundo Machado (2015) faz-se entender que os poros estão com uma alta conexão, o que pode ter sido influenciado pelo crescimento dos sistemas radiculares das gramíneas que cobrem esse solos, as raízes desse tipo de vegetação podem chegar a até um metro de profundidade. (Figura 5).

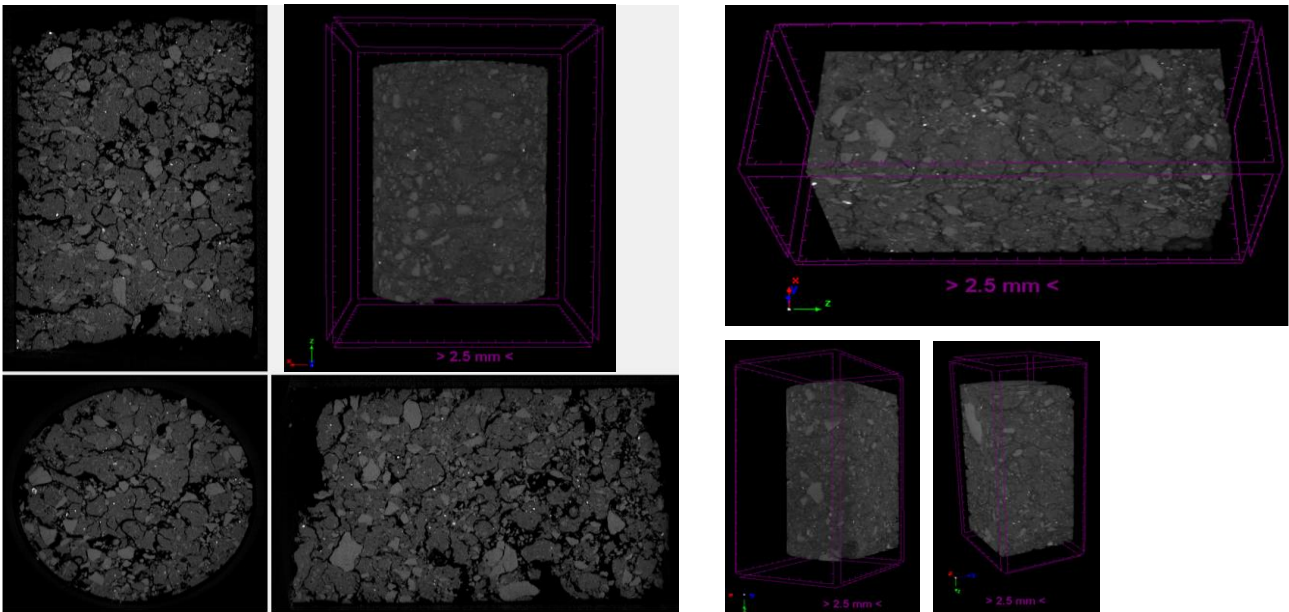


Figura 5. Imagens coronais, radiais e tridimensionais da amostra de solo com cobertura vegetal.

O percentual maior de macroporos, de acordo com Rodrigues (2015) possuem dois fatores condicionantes, primeiramente a alta concentração de areia fina no horizonte superficial desse Latossolo estudado, posteriormente voltamos à relacionar a presença dos complexos sistemas radiculares da *Brachiaria Decumbens* que apresentam-se com diâmetros maiores que 0,03mm. No perfil de porosidade da amostra observa-se que numa profundidade de 10cm está o pico da concentração de poros que coincide com o ponto de dissipação das raízes como já demonstrou Bertolino (2004) em estudos que relacionavam erosão e cobertura vegetal.

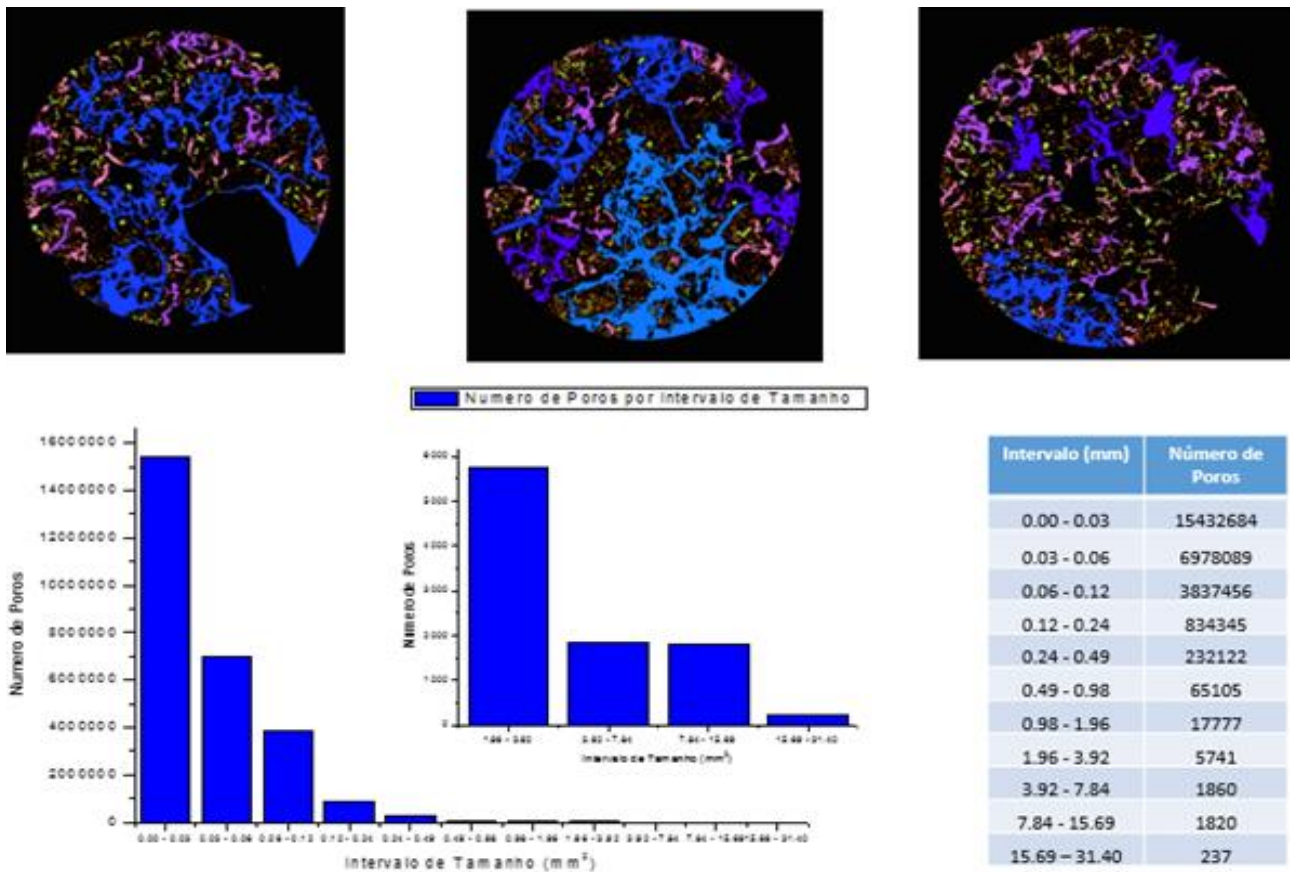


Figura 6. Relação do número de poros por intervalo de tamanho da amostra de solo com cobertura vegetal, como também seções transversais demonstrando a conexão entre os poros.

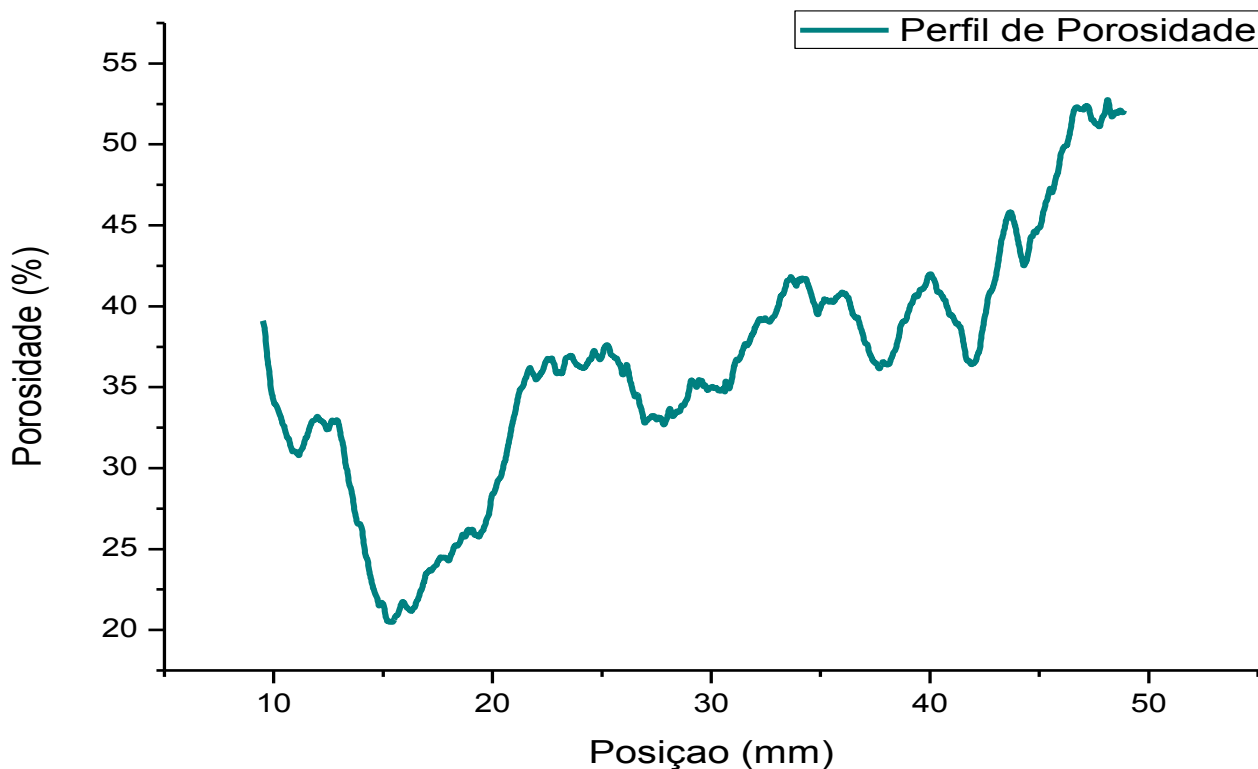


Figura 7. Perfil de porosidade de acordo com os dados da Figura 6.

O que entende-se claramente observando os valores obtidos e a disposição da área estudada é um avanço dos processos de degradação do solo. De acordo com a Embrapa, 2010 nas situações em que a degradação está ocorrendo, seja em sua fase inicial (degradação agrícola) ou final (degradação biológica), é necessário adotar técnicas de recuperação. As estratégias para recuperação dessas áreas podem ser em longo, médio ou curto prazo e ainda depender do sistema de exploração da área (pastagens, lavoura, florestas, cultivadas ou sistemas agroflorestais).

As estratégias de recuperação em longo prazo consiste no abandono da área para que haja a recomposição natural da vegetação. O abandono da área conduz ao desenvolvimento de arbustos e árvores que, com o passar dos anos podem formar uma vegetação característica de floresta secundária, em que muitas das funções da floresta primária são restabelecidas. Essa vegetação secundária passa a absorver água de camadas mais profundas do solo, atuar como sumidouro de carbono atmosférico e transferir nutrientes do solo para a biomassa.

As estratégias de recuperação em médio prazo consistem na integração de lavoura-pecuária e na introdução de sistemas silvipastoris. Para os demais ecossistemas agrícolas, a principal estratégia é a introdução de sistemas agroflorestais. Essas estratégias permitem a recuperação em um menor tempo e o aproveitamento econômico da área é quase imediato.

As estratégias de recuperação em curto prazo consistem na adoção de tecnologias visando a pronta recuperação da área. Normalmente, nas áreas agrícolas, envolvem o uso de corretivos da acidez, para eliminar os efeitos tóxicos do alumínio e fornecer o cálcio e magnésio às plantas; utilização de leguminosas como fonte de nitrogênio e matéria orgânica; e adubação química para a recomposição dos teores de fósforo e potássio do solo. A puerária é uma leguminosa de excelente adaptação para as condições climáticas do Estado e tem sido utilizada em rotação com a cultura principal com ótimos resultados.

3. CONCLUSÕES

Na construção civil, quanto mais rígido o solo for, melhor para apoio de estruturas, distribuição de tensões e determinação de fundações. Mas neste caso, como este solo possui uma probabilidade de recuperação maior, sendo viável um tratamento afim de estabilizar os processos do meio físico, determina-se estudar a mecânica dos solos para tomar medidas para

ações corretivas necessárias. Técnicas de recuperação como: revegetação, execução de obras (com ou sem contenção e retenção), incluindo as hidráulicas, que visam a estabilidade física do ambiente e a remediação com a execução de métodos de tratamento predominantemente químicos (ou biológicos) destinados a eliminar, neutralizar, imobilizar, confinar, ou transformar elementos ou substâncias contaminantes presentes, atingindo a estabilidade química do ambiente, se torna necessária e eficaz neste propósito de restauração da área degradada.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, e ao GEPE (Grupo de Estudos e Pesquisas da Estácio) e a COPPE-UFRJ pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

- Bertolino, A. V. F. A. Influência do Manejo na Hidrologia de Solos Agrícolas em Ambiente Serrano: Paty do Alferes – RJ. Tese de doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, 178p. 2004.
- Brewer, R. Fabric and Mineral Analysis of soil. John Wiley & Sons. 1964.
- Embrapa. Ronquim, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais / Carlos Cesar Ronquim. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
- Feldkamp, L. A.; Davis L. C.; Kress J. W. Pratical cone beam algorithm, Journal of Optical Society of America, Vol. 1(6), pp.612-619. 1984.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. Digital Image Processing, 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 2002.
- Morais, N. B. Processos hidroerosivos em encostas de colinas com pastagem na bacia hidrográfica do alto curso do rio São João, Rio de Janeiro./ Neiva Barbalho de Moraes – Niterói: [s.n.], 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2011.
- Pinto, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª. Edição: Carlos de Sousa Pinto. São Paulo: Oficina de. Textos, 2006.
- Rodrigues, H. M.; Vasques, G.M.; Lemes, M. W.; Rosas, R. O. Avaliação do escoamento superficial e da perda de solo sob diferentes coberturas e declividades em Silva Jardim, RJ. XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Teresina. 2015.