CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE E DESENVOLVIMENTO DA GRUTA DE BARRO (PR 272), MUNICÍPIO DE TAMARANA (PR)

Ângelo SPOLADORE – spolador@uel.br
Emília Akemi FUKUDA – emiliafukuda2008@bol.com.br
Marcos Aparecido GONÇALVES – maparecidogoncalves@yahoo.com.br
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Abstract
The objective of these paper is to show the results of the study about the genesis and development of a mud cave find in Tamarana, Paraná State. The study was accomplished with base in the physical characteristics of the local soil. The results showed that there is the united performance of two erosive process inside the cavity: regressive erosion and erosion for drainage, which would be responsible for the actual enlargement of the cave. The results indicated that the material inside of the cavity is unstable and, consequently, more easily to erode.

Introdução

Em Tamarana, norte do Estado do Paraná, foi localizada uma série de cavidades desenvolvidas em meio a material argiloso proveniente da decomposição de rochas pertencentes à Formação Serra Geral.

Tratam-se de cavidades praticamente retilíneas, com desenvolvimento chegando próximo aos 100 metros.

Os estudos em uma dessas cavidades mostrou que, possivelmente, a gênese e desenvolvimento das mesmas estão relacionados com fenômenos erosivos subterrâneos. Por sua vez, a evolução destas cavidades está relacionado com propriedades do solo, tais como micro e macro porosidade, grau de floculação, estabilidade de agregados, estrutura, textura, dentre outros.

Erosão Tubular Regressiva

A erosão é um processo geológico que atua continuamente na superfície do planeta e caracteriza-se pela remoção e transporte de partículas de solo ou de rochas, sendo que a água seu principal condicionante.

Guerra (2001) analisa a erosão a partir de dois aspectos: um tradicional como uma ação modificadora exercida pela água corrente, e outra, como decomposição química originada pelas águas correntes.

Dentre os vários tipos de erosões resultantes da ação da água podem ser destacadas a erosão acelerada, erosão em ravinas, erosão em lençol, erosão por salpico, erosão remontante, dentre outros (Guerra, 2001). Esta última forma de erosão hídrica, se caracteriza pela formação de dutos ou galerias e recebe a denominação de erosão tubular regressiva, também conhecida pelo termo *piping* (entubamento, em português) que designa erosões subterrâneas ou erosões em túneis (dutos).

De acordo com Guerra (2003), os dutos (*pipes* em inglês) ou túneis são canais, com diâmetros que variam de poucos centímetros até vários metros. O processo de formação destes dutos está relacionado ao intemperismo, sob condições especiais geoquímicas e hidráulicas, havendo a dissolução e carreamento de minerais, em subsuperfície.

A erosão tubular regressiva é uma forma de erosão que está freqüentemente associada às voçorocas, forma mais avançada de erosão, entretanto, isso não configura uma regra. Em alguns casos, a evolução dos dutos que ocorre pela erosão regressiva, em que a água vai "escavando" as paredes destes dutos provocando o seu alargamento, pode levar ao desabamento do solo situado acima, causando a abertura e a formação de vales, como foi observado no estudo realizado em Tamarana (Fukuda, 2009). Neste caso, o colapso do solo não provocou a formação de voçoroca, visto que a erosão não atingiu o nível freático.

A formação da erosão tubular regressiva está ligada ao escoamento em subsuperfície e devido às diferenças de resistência entre as camadas de solo, a água quando encontra uma camada menos resistente inicia o processo de escavação dando origem, desta forma, a cavidades ou dutos no interior solo.

No que se refere ao escoamento em subsuperfície, Coelho Neto (2003) explica o comportamento das águas subsuperficiais e a sua relação com a erosão por *piping*. Conforme a autora, "a erosão hídrica subsuperficial atuante nas voçorocas dá-se por dois mecanismos: o primeiro deles está relacionado com o carreamento das

partículas menores do solo por entre as maiores, em decorrência da força do fluxo subsuperficial exfiltrante, o que provoca um desmantelamento da estrutura do solo, formando vazios no seu arcabouço. Esse mecanismo é conhecido por *seepage erosion* ou erosão por vazamento [...]. O segundo mecanismo é provocado pelo fluxo hídrico em macroporos, que gera forças cisalhantes nas suas margens. Estas forças cisalhantes podem provocar o destacamento e o transporte das partículas, fazendo com que o macroporo se alargue até o ponto em que ocorre colapso do material do teto. Tal mecanismo, que pode surgir em vários tipos de macroporos (ex.: fissuras, cavidades biológicas e juntas de origem tectônica), é conhecido por *piping* ou *tunnel erosion*.

Casseti (2008) explica que dentre os fatores que ocasionam o escoamento em subsuperfície estão os ligados às descontinuidades de horizontes pedogênicos e aos contatos litoestratigráficos diferenciados por fatores texturais. No primeiro caso, a descontinuidade estaria relacionada a processos pedogenéticos ligados ao transporte de materiais de um horizonte para outro (processo de eluviação), resultando na formação de uma camada iluvial com concentração de argila, o que faz com que o fluxo de subsuperfície seja paralelo à camada (eluvial), menos permeável. No caso dos contatos litoestratigráficos, o escoamento em subsuperfície pode ser provocado em áreas onde há presença de material sedimentar com diferenças de textura ou ainda, em áreas onde o material litológico subjacente é impermeável, como é o caso do basalto maciço.

Segundo Guerra (2003, p.154), "as propriedades do solo são de grande importância nos estudos de erosão, porque, juntamente com outros fatores, determinam a maior ou menor susceptibilidade à erosão".

Dentre as propriedades do solo que influem na sua erodibilidade, podem ser destacadas a textura, estrutura, porosidade, densidade aparente e estabilidade dos agregados. Características químicas, biológicas e mineralógicas do solo exercem também diferentes influencias na erosão.

Quanto a estas últimas características, de acordo com Salomão (1999), elas são importantes no estudo da erosão, pois influem no estado de agregação das partículas, aumentando ou diminuindo a resistência do solo a erosão.

A Gruta de Barro (PR 272)

A área de estudo está localizada no município de Tamarana, ao norte do Estado do Paraná (Fig. 1).

Tamarana encontra-se na Mesorregião Geográfica Norte Central Paranaense a 336,67km de Curitiba e cerca de 50 km ao sul de Londrina. O município abrange uma superfície de 469,401 Km^2 e possui uma altitude média de 770 m, estando situada a 23º 43 00 de latitude sul e a 51º 05 00 de longitude oeste.



Figura 1: Localização do município de Tamarana

A caverna está situada a uma distância de aproximadamente 1 km da cidade, em estrada vicinal, direção sul, em meio a área de mata, havendo plantações agrícolas em torno desta área próximo ao rio Apucaraninha.

Geomorfologicamente, Tamarana encontra-se inserida na Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, unidades morfoesculturais do Segunda e Terceiro Planalto, na sub-unidade morfoescultural denominada de Planalto de Londrina (MINEROPAR, 2006). Este por sua vez, apresenta dissecação média, com declividade média de 12%,com altitudes oscilando entre 360 (mínima) e 1.180 (máxima) m. s. n. m. As formas

predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em "V", modeladas em rochas da Formação Serra Geral.

Geologicamente, Tamarana está situada sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, sendo identificadas litologias pertencentes às seguintes formações: Rio do Rasto (Gr. Passa Dois), Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (Gr. São Bento)

O relevo nas imediações da cavidade é acidentado (Fig.2), sendo verificado ocorrência de erosão laminar ao longo da área de cultivo. Verificou-se também a existência de erosão em sulcos na parte inferior do terreno.



Figura 2: Vista geral da área situada imediatamente acima da cavidade. O traço vermelho representa o eixo principal de desenvolvimento da cavidade. Destaque para a área de cultivo.

A cavidade se desenvolveu em meio às argilas provenientes da decomposição intempérica das rochas (basalto / riodacito) pertencentes a Fm. Serra Geral.

A entrada (sumidouro) da cavidade está no interior de fragmento de mata, percorrendo subterraneamente sob área cultivada sendo que a ressurgência está localizada em área de mata, situada na porção inferior, verificando-se em seguida, uma queda abrupta do terreno.

As entradas (sumidouro e ressurgência) da caverna possuem dimensões reduzidas (Figs. 3 e 4), sendo comuns raízes e restos de vegetais.

No interior da cavidade constatou-se a existência de um córrego que chega a formar pequenas quedas d'água.

As paredes teto e chão da cavidade são de argila (Fig.5). Não foram observados ornamentos. Todavia, destaca-se uma grande quantidade de raízes no teto, o que confere a cavidade um aspecto singular.

A caverna é constituída basicamente por um túnel retilíneo com altura oscilando entre 2,10 metros a 0,70 metros. A largura média é de 3 metros.



Figura 3: Entrada (sumidouro) da Gruta de Barro (PR272).



Figura 4: Ressurgência da Gruta de Barro.



Figura 5: Aspecto geral do interior da cavidade.

Próximo a ressurgência existe uma galeria secundária originada pela erosão tubular regressiva (Fig. 6).



Figura 6: Entrada da galeria secundária.

Foi possível verificar no interior da cavidade a ação de erosão regressiva, proporcionando o alargamento das bases e laterais da cavidade bem como originando galerias secundárias no interior do solo. Tais observações indicam que a cavidade está evoluindo e que, conforme essa evolução se processa, a erosão tende a adquirir proporções cada vez maiores até o momento em ocorre o colapso e o desabamento do solo situado acima.

Como resultado, temos a formação do vale ai existente e por onde a água continua a percorrer quando sai da cavidade, indo desaguar no Rio Apucaraninha.

Verificou-se também que a ação da erosão regressiva tem atuado no interior da cavidade, como já citado, escavando as suas paredes, através do desplacamento de fragmentos ou blocos de solo, assim, ao invés de se fragmentarem em estruturas menores, simplesmente, se desprenderam da parede em blocos maiores.

Resultados Obtidos

Visando entender e buscar informações sobre a gênese e evolução da cavidade foram coletadas amostras de solo tanto no interior da cavidade como em seu entorno (coleta de amostras em barranco). Com essas amostras foram realizadas diversas análises tais como: análise granulométrica (textura), grau de floculação e de dispersão de argila, estabilidade dos agregados em água, além da descrição morfológica do material coletado.

Resultados obtidos das amostras coletadas no meio externo a cavidade.

Uma das formas utilizadas para se verificar a resistência de um solo a erosão é por meio da análise da estabilidade dos seus agregados em água, o qual permite obter informações tais como: a quantidade de agregados distribuídos por classes de tamanho (representado pelo diâmetro médio ponderado ou DMP), o diâmetro da classe de maior ocorrência (representado pelo diâmetro médio geométrico ou DMG), além de permitir quantificar o nível ou grau de agregação do solo (representado pelo índice de estabilidade dos agregados ou IEA).

Os resultados de estabilidade de agregados das amostras coletadas em barranco mostram que ocorre aumento no DMP dos agregados, conforme o aumento da profundidade. Em relação ao DMG, os

valores oscilaram bastante ao longo das camadas, variando de 1,13 a 7,64mm (gráfico 1).

É possível observar no gráfico 1 que a parte superficial do barranco (camada 1) apresenta o menor DMP entre todas as camadas com um valor de 2,54mm, o que indica, portanto, que a maior parte dos agregados se encontra nas peneiras de malha menor. A presença de matéria orgânica nesta camada além de favorecer o processo de agregação do solo, contribui para a estabilidade dos agregados.

O grau de estabilidade dos agregados depende principalmente de fatores como o teor de matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio.

Da camada 2 até a camada 6 os valores de DMP são praticamente constantes, variando entre 5,03 e 5,45mm e, a partir da camada 7 ocorre um aumento acentuado nos valores de DMP, estando todos acima de 10mm. O aumento do DMP ao longo do perfil de barranco pode estar relacionado à compactação natural do solo, causado pelo processo de celamento (preenchimento dos poros do solo por material coloidal), o que reduz o espaço poroso do solo, tornando-o mais compactado. Isso pôde ser observado na verificação do grau de estrutura dos agregados (forte, em sua maioria) e na presença de estrutura em blocos angulares ao longo de praticamente todo o perfil (com exceção da camada 1 e 15), característicos de solos compactados.

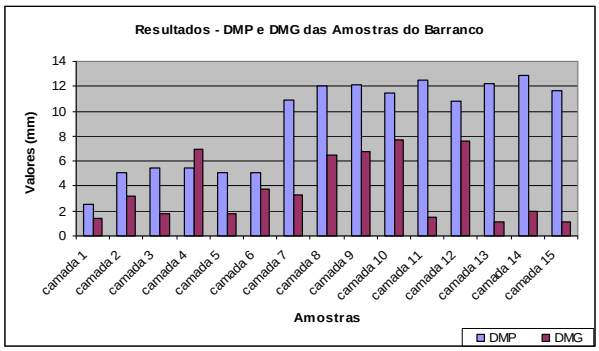


Gráfico 1: DMP e DMG das amostras coletadas em barranco. (Fukuda 2009).

O que se pode inferir dos resultados obtidos e também na observação das análises de estabilidade em laboratório é que, em geral, as amostras que apresentam valores maiores de DMP são bastante resistentes e estáveis em água, não desagregando com facilidade. Isso pode ser evidenciado na quantidade de agregados maiores presentes em cada uma das amostras e também pelo índice de estabilidade dos agregados (IEA) (gráfico 2) o qual permite determinar além do grau de agregação do solo, a quantidade de solo retido no conjunto de peneiras e a quantidade que se perde que consiste na parte não agregada (gráfico 3).

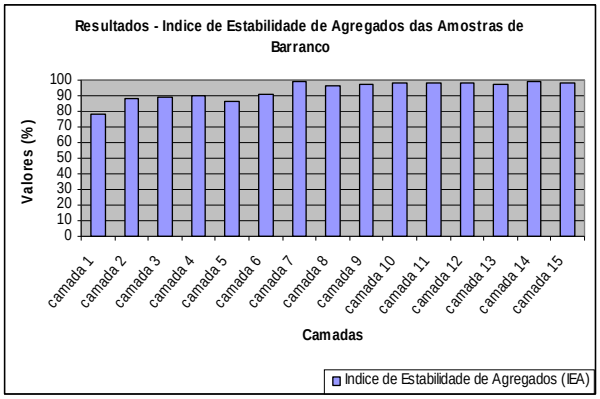


Gráfico 2: Índice de estabilidade alto indica que o solo possui uma boa agregação. (Fukuda 2009).

O que se pode observar em relação ao gráfico 3 é que, ocorre uma diminuição significativa na porcentagem de material não agregado da camada 7 em diante, sendo justamente as camadas que apresentam os maiores valores de DMP e IEA, verificando-se, pois, uma relação inversamente proporcional entre DMP e IEA e a quantidade de material não agregado presente no solo.

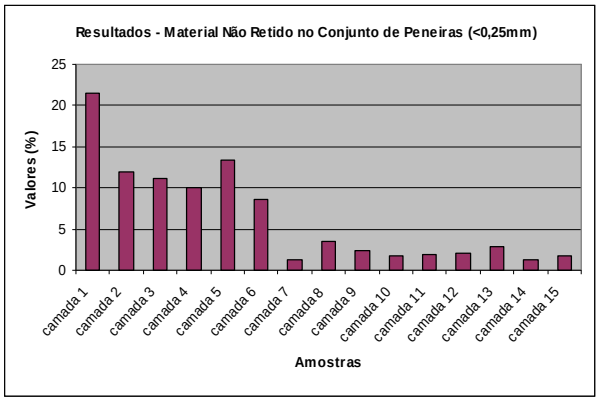


Gráfico 03: Material não agregado presente nas amostras coletadas em barranco. (Fukuda 2009).

De acordo com Dexter (1988), solos com agregados estáveis de maior tamanho são considerados estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo.

Embora os agregados maiores apresentem maior estabilidade em água e, portanto, serem mais resistentes à erosão, é necessário considerar a situação local verificada, ou seja, a forma como se processa a ação erosiva no interior da cavidade subterrânea. Nesse sentido, foi observado no interior da cavidade, o desplacamento do solo em blocos, em virtude da ação da erosão regressiva. Isto

significa que, a estabilidade dos agregados em água se torna relativa em se tratando do tipo de erosão. Neste sentido, o solo pode ser estável e resistente a uma forma erosiva, no caso a erosão por carregamento / arraste de partículas, e ser mais instável em relação à outra forma erosiva, no caso à erosão regressiva, como foi o evidenciado.

Quanto aos resultados de análise granulométrica (gráfico 4), a porcentagem de argila ao longo das camadas variou de 64% (camada 3) a 87,5% (camada 7), valores que indicam textura muito argilosa do solo. As três primeiras camadas apresentaram valores relativamente semelhantes, na casa dos 65%, sendo que as camadas subseqüentes apresentaram porcentagem de argila acima dos 70% (a exceção da camada 5, com 68,5%). Quanto às porcentagens de silte e areia, apresentaram, valores máximos de 20% e 27%, respectivamente.

Quanto à floculação e dispersão de argila, os resultados das amostras de barranco mostraram uma nítida divisão entre as amostras que apresentaram quantidade maior de argila dispersa em água e as que apresentaram maior grau de floculação. É possível observar no gráfico 05 que as primeiras quatro camadas apresentam valores muito elevados de GD, sendo que os valores das camadas 1 e 3 chegaram aos 100%. Da camada 5 em diante verificou-se uma inversão, havendo valores elevados de floculação de argila em detrimento de menor porcentagem de GD.

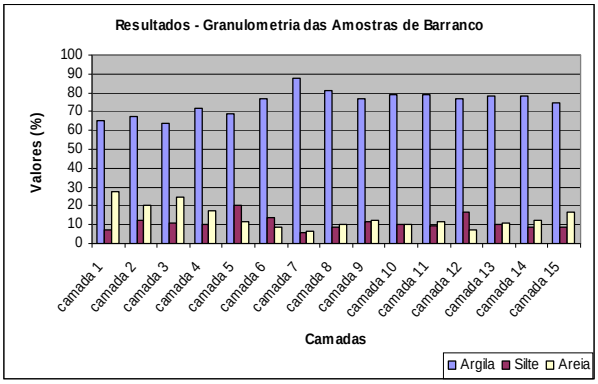


Gráfico 4: Análise granulométrica das amostras coletadas em barranco. (Fukuda 2009).

O grau de floculação é calculado pela relação entre argila natural e total, sendo um indicativo do estado de floculação ou dispersão dos colóides. Baixos valores de floculação relacionam-se com maior quantidade de argila dispersa, o que favorece a sua mobilidade no solo, podendo isso causar a obstrução dos poros e a conseqüente redução na infiltração (Azevedo e Bonuma 2003).

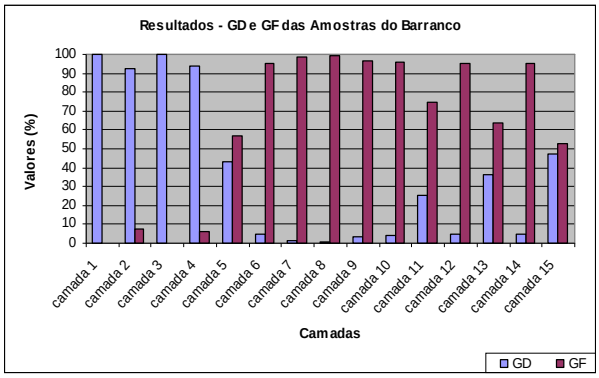


Gráfico 5: GD e GF das amostras coletadas em barranco. (Fukuda 2009)

Em termos de características morfológicas do solo (ao longo de todas as camadas coletadas em barranco), os resultados mostraram características de alteração física (estrutura) e mistura de materiais, como já havia se verificado em campo.

A análise física revelou que o solo ao longo de seu perfil, apresenta características morfológicas muito irregulares (para um perfil de solo de mata), indicado pelo grau de estrutura forte, pela estrutura em blocos angulares e consistência quando seco variando de duro a muito duro em praticamente todas as camadas.

Resultados Obtidos nas amostras coletadas no interior da cavidade.

De uma forma geral, as análises revelaram que o solo no interior da cavidade possui maior semelhança (estabilidade de agregados – grau de agregação do solo, proporção de material não agregado, distribuição das classes de agregados; granulometria; grau de floculação e dispersão de argila) com as primeiras camadas do perfil e não com as camadas localizadas em profundidade que era o esperado, já que estas estavam situadas paralelamente à cavidade, em área de influência da erosão subterrânea.

Os dados de estabilidade de agregados da cavidade (gráfico 6) mostraram que as amostras possuem valores de DMP entre 1,03 e 4,99mm, valores relativamente baixos se considerados os valores de DMP das camadas em profundidade que ficaram acima de 10mm, mas semelhantes se considerados os valores de DMP das primeiras camadas que ficaram entre 2,54 e 5,45mm. Já o DMG ficou entre 1,13 e 5,27mm, enquanto o índice de estabilidade de agregados (IEA) ficou entre 74,04 e 91,69%. Os valores de DMG são muito variáveis tanto nas amostras da cavidade como nas amostras

coletadas no perfil, no entanto, o grau de agregação no interior da cavidade é também semelhante com as camadas iniciais.

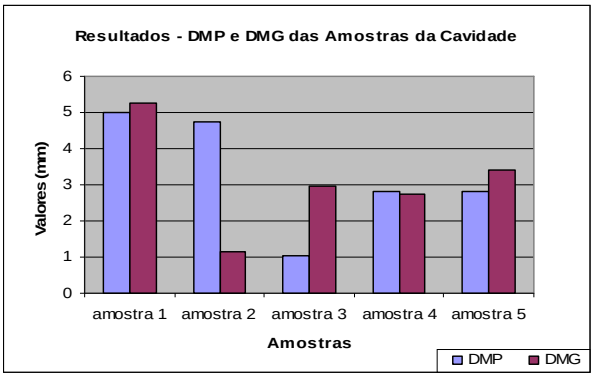


Gráfico 6: DMP e DMG das amostras coletadas na cavidade. (Fukuda 2009)

É possível observar no gráfico 06, variações sensíveis em relação ao diâmetro médio ponderado, valores muito abaixo do que foi verificado nas amostras em profundidade, coletadas no barranco, mas semelhantes às amostras coletadas nas primeiras camadas.

Pôde-se verificar que, particularmente, a amostra 3 apresentou resultados que levam a concluir se tratar de um material relativamente instável em água. Nos dados desta amostra, observou-se que cerca de 71,13% (índice de estabilidade de agregados) do solo encontra-se agregado (gráfico 7), enquanto o restante dos 28,87% representam a parte não agregada. Das cinco amostras analisadas, a amostra 3 apresentou uma quantidade sensivelmente maior de material não agregado, como pode ser visto no gráfico 08. Também em relação ao diâmetro médio ponderado (DMP) a amostra 3 apresentou uma sensível diferença em relação às outras amostras, sendo que a maior parte do solo ficou retida nas classes de peneira de menor diâmetro, o que indica um baixo valor de DMP.

No geral, as amostras coletadas no interior da cavidade possuem agregados de tamanhos mais reduzidos, havendo ainda, um aumento na quantidade de material não agregado, resultados similares aos das camadas iniciais das amostras coletadas no barranco.

O que se percebe também observando-se os dados das amostras da cavidade e do perfil é que, no interior da cavidade o que ocorre é uma atuação conjunta de duas formas erosivas. Enquanto a erosão regressiva provoca o alargamento das bases da cavidade, a erosão por escoamento provoca o transporte dos materiais desagregados.

Os resultados de estabilidade de agregados das amostras do perfil mostram que ocorre uma preponderância de agregados maiores (em profundidade) os quais possuem tendência a sofrer ação da erosão remontante o que significa que, o processo erosivo verificado no local provavelmente atingirá proporções maiores, como já é verificado mais ao interior da cavidade, onde as dimensões (altura e largura) são bem maiores do que as dimensões verificadas nas duas entradas (sumidouro e ressurgência).

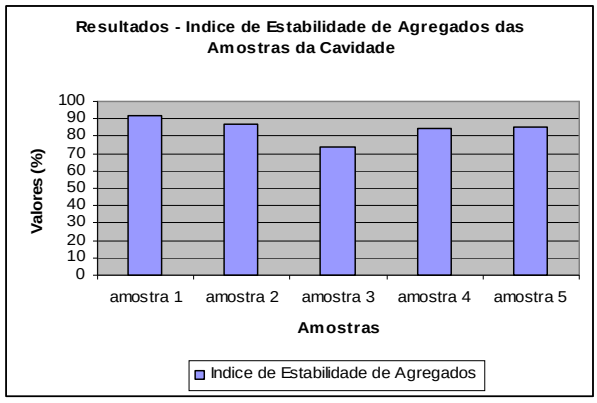


Gráfico 7: IEA das amostras da cavidade. (Fukuda 2009).

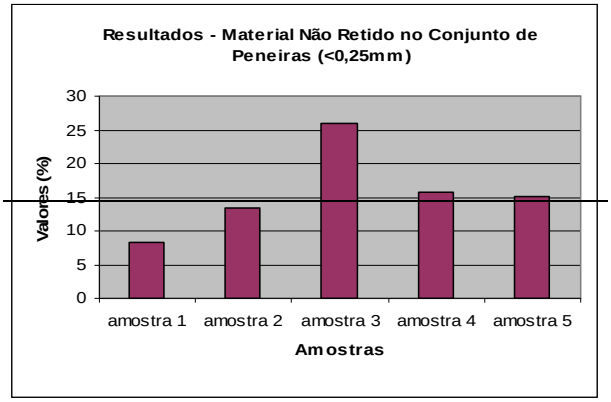


Gráfico 8: Material não agregado presentes nas amostras coletadas na cavidade. (Fukuda 2009).

Quanto à floculação e dispersão de argila, todas as cinco amostras apresentaram dispersão de argila acima dos 80%, enquanto o grau de floculação ficou entre os valores de 16 a 19% (gráfico 9). Os resultados aqui também são semelhantes com as camadas superiores do perfil, ao contrário das camadas em profundidade que apresentam maior floculação de argila.

No que diz respeito ao gradiente textural, quatro das cinco amostras coletadas na cavidade, apresentaram resultados relativamente semelhantes.

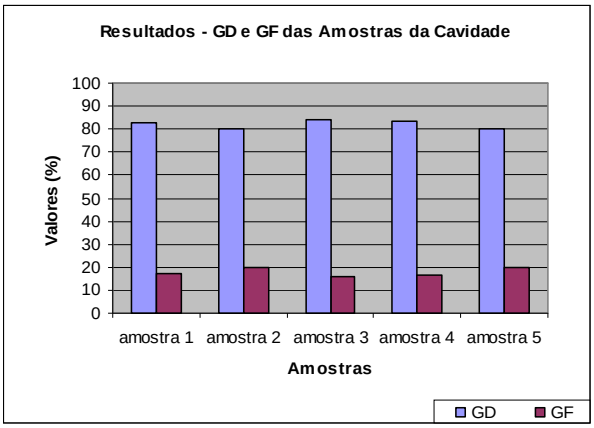


Gráfico 9: GD e GF das amostras coletadas na cavidade. (Fukuda 2009).

Estas amostras apresentam em torno de 70% de argila, sendo, portanto, solos de textura muito argilosa, a exceção da amostra 4 que apresentou cerca de 51,5% de argila, sendo, pois, classificada como solo de textura argilosa. Quanto à proporção de areia e silte, os valores variaram de 10,5 a 20% e 9,5 a 28%, respectivamente. A porcentagem de areia foi relativamente elevada para quatro das cinco amostras, com exceção da amostra 3 que apresentou 9,5% (gráfico 10).

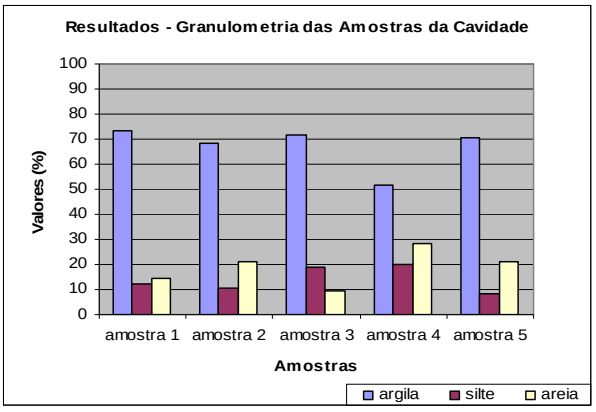


Gráfico 10: Análise granulométrica das amostras coletas na cavidade. (Fukuda 2009).

Fazendo um parêntese entre os resultados de granulometria das camadas superiores e inferiores do perfil, verifica-se mais uma vez, semelhança com as camadas superiores que apresentam argila em torno de 65 a 72% enquanto as camadas inferiores apresentaram teor de argila entre 74,5 e 87,5%.

Considerações finais.

Analisando os dados obtidos, chega-se as seguinte conclusões:

- Os dados das análises físicas de solo confirmaram a atuação conjunta de duas formas erosivas no interior da cavidade, as quais já haviam sido identificadas em campo, que são a erosão regressiva ou remontante e a erosão por escoamento;

- As análises revelaram também que o solo no interior da cavidade possui maior semelhança com as primeiras camadas do perfil e não com as camadas localizadas em profundidade que era o esperado, o que levanta a possibilidade de ter havido no local processo de aterramento;

- Uma outra explicação para o processo erosivo estudado, é a possibilidade do solo da cavidade ser realmente mais instável em água e, consequentemente, mais facilmente erodível em relação ao solo externo, o que não é possível afirmar exatamente, visto que as amostras coletadas na cavidade talvez sejam insuficientes para se chegar a uma conclusão como esta;

- Uma importante análise que auxiliaria no estudo e que não foi realizado devido à questão de tempo para o desenvolvimento deste trabalho, seria a verificação da mineralogia da argila presente no solo, visto que, dependendo do tipo de argila, o solo pode ser mais ou menos estável em contato com a água, o que gera diferentes comportamentos erosivos;

- Os resultados obtidos com este trabalho, embora, não sejam conclusivos, visto estarem pautadas em hipóteses / possibilidades, não deixam de ser importantes, pois abrem caminho para a continuidade de novos estudos sobre o assunto.

Referências Bibliográficas

AZEVEDO, A.C.; BONUMA, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolo. **Ciência Rural**, [S.l.], v.34, p.609-617, 2003.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia.** Disponível em: http://www.funape.org/geomorfologia/. Acessado em: 10/06/2008.

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (orgs). **Geomorfologia:** uma atualização de base e conceitos. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 472p.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Till. Res.**, [S.l.], v.11, p.199-238, 1988.

FUKUDA, E.A. **Processo erosivo subterrâneo em área rural no município de Tamarana-PR:** estudo de caso. Monografia (Especialização em Análise Ambiental em Ciências da Terra) – Universidade Estadual de Londrina, 2009. 72p.

GUERRA, A.T. **Novo dicionário geológico geomorfológico**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 652p.

GUERRA, A.T. Processos erosivos nas encostas. In: _____ & CUNHA, S.B. (orgs). **Geomorfologia:** uma atualização de base e conceitos, 5ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 472p.

MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná.** Disponível em: http://www.mineropar.pr.gov.br. Acessado em: 20/10/2008.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: BOTELHO, R.G.M.; GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.