

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NA VOÇOROCA DA AVENIDA CONTORNO-ANÁPOLIS-GO

EVALUATION OF EROSION PROCESSES IN THE GULLY AVENUE CONTORNO-ANÁPOLIS-GO

ANTONIO LÁZARO FERREIRA SANTOS

Docente da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
antoniolazaros@gmail.com.br

ANTÓNIO JOAQUIM PEREIRA VIANA DA FONSECA

Docente da UP – FEUP, Faculdade de Engenharia do Porto (Porto/Portugal)
viana@fe.up.pt

LEANDRO GONÇALVES CORREA

Graduando da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
correaeng.civil@hotmail.com

RAFAEL VELOSO

Graduando da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
rafaelv.go@gmail.com

LUCAS PEREIRA GONÇALVES

Graduando da UEG – CCET, Campus Henrique Santillo (Anápolis – GO)
lucaspegoncalves@gmail.com

Resumo: Um dos principais problemas gerados nas áreas urbanas é o surgimento de processos erosivos capazes de destruir habitações e obras de infraestrutura. Para evitar esse tipo de problema, fazem-se necessários estudos preliminares e de planejamento da ocupação do solo. Os processos erosivos conhecidos como voçorocas, que atingem a cidade de Anápolis, são responsáveis por importantes perdas de solo. Este trabalho objetiva a determinação dos parâmetros geotécnicos com o intuito de auxiliar à identificação das vulnerabilidades, nas áreas entorno da Voçoroca Contorno e na porção intern. Para isso, foram obtidos parâmetros geotécnicos por meio de ensaios de laboratório, tais como: granulometria, massa específica dos grãos de solo (ρ_s), massa específica natural (ρ). Foram determinados também os parâmetros relativos aos limites de Atterberg, curva de retenção e cisalhamento direto, a partir das amostras coletadas na área em estudo, conforme procedimentos das normas da CEN ISO/TS. As tensões de cisalhamento para os solos tiveram comportamento semelhantes, chegando a 15,20 kPa (solo1), 18,70 kPa (solo 2) e para amostra remoldada, 13,0 kPa. Já os ângulos de atrito interno apresentaram valores de $32,6^{\circ}$ para os solos 01 e 02 e para amostra remoldada, $31,1^{\circ}$.

Palavras-chave: Avaliação. Voçoroca. Solos.

Abstract: One of the main problems generated in urban areas is the emergence of erosion capable of destroying buildings and infrastructure. To avoid this problem, preliminary geotechnical studies are required as well as adequate urban planning. The erosion known as gullies, reaching the city of Anápolis, is responsible for significant losses of soil. This study aims to determine the geotechnical parameters in order to assist the identification of vulnerabilities in the areas surrounding the gully Contour. It were obtained geotechnical parameters through laboratory tests, such as: particle size, density of soil grains (ρ_s), natural density (ρ). It were also obtained the parameters for the Atterberg limits, retention curve and direct shear through from the samples collected in the area, according to the procedures of standards of CEN ISO / TS. The shear stresses for the soils had similar behavior, reaching 15.20 kPa (soil1), 18.70 kPa (soil 2) and for the remanufactured sample, 13.0 kPa. The internal friction angles presented values of 32.6° for the soils 01 and 02 and for the remolded sample, 31.1° .

Key-words: Evaluation. Gully. Soil.

Introdução

A ocupação do meio físico através da expansão urbana tem revelado problemas de relativa gravidade, em função do não conhecimento dos fatores físicos que regem o comportamento frente à ocupação. No caso específico do município de Anápolis, os processos erosivos lineares mais avançados, atingem o município por décadas, são responsáveis por importantes perdas de solo e consequentes assoreamentos na rede de drenagem da região, acarretando prejuízos para a infraestrutura local.

Em alguns bairros da cidade de Anápolis a intensidade dos processos erosivos, além de gerar riscos de queda de pessoas, também dificulta e/ou inviabiliza o trânsito, prejudicando a acessibilidade dos moradores (JESUS *et al.*, 2009).

A voçoroca Contorno ilustra muito bem essa realidade. Dá-se início por atingir o horizonte C nas vertentes inferiores, pela remoção dos horizontes A+B (solum), ali menos espessos. Erodido o solum, o horizonte C é muito mais rapidamente erodido por causa da sua maior friabilidade. Com a incisão no horizonte C até o lençol freático, a erosão começa a evoluir de forma remontante, por descalçamento e solapamento dos taludes.

A fim de identificar os mecanismos que determinam o processo erosivo, a avaliação experimental indireta da erodibilidade tem sido feita a partir de ensaios que conduzem a caracterização física, química, mineralógica e estrutural do solo. Os ensaios de caracterização física, utilizados na avaliação indireta da erodibilidade, são os limites de Atterberg, granulometria, teor de umidade, curvas características, adsorção, porosidade e análise microestrutural. Na caracterização química, são determinados os valores de teor de matéria orgânica, sais solúveis cátions trocáveis, óxidos totais e amorfos e pH.

A caracterização mineralógica é feita por meio de difratometria de raios-X ou microscopia eletrônica de varredura-MEV. Camapum e Fácio (1994), ao estudarem processos erosivos do Distrito Federal, determinaram a erodibilidade de diversos tipos de solos, em associação com ocorrências de ravinas e voçorocas. Esses pesquisadores verificaram que o grau de lateritização dos solos é um fator interveniente na susceptibilidade a erosão e incluíram as relações sílica/sesquióxidos e sílica/óxido de alumínio como indicadores desta propriedade nos modelos matemáticos por eles propostos.

Bender (1985) observou que quanto menor o grau de saturação do solo (maior sucção), maior será a erosão quando este é submetido às chuvas, sendo mais intensa nos instantes iniciais com redução gradativa ao longo do tempo. Bastos (1999) sugere para a avaliação da erodibilidade dos solos, a realização de ensaios de cisalhamento direto, que são

mais simples e mais adequados a obtenção dos parâmetros de resistência necessários. Fácio (1991), ao estudar solos provenientes de erosões do Distrito Federal, verificou que, quanto maior o grau de saturação, menor a erodibilidade do solo.

Guimarães (2002), ao realizar ensaio de cisalhamento direto e triaxiais para o perfil de intemperismo de um solo do Distrito Federal, verificou que os valores de coesão são marcadamente distintos ao se comparar os resultados obtidos de ensaios realizados sobre amostras naturais nos estados não saturados e inundados. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a tendência dos processos erosivos, por meio dos parâmetros geotécnicos dos solos na área da Voçoroca Contorno.

Material e Métodos

Com o objetivo de se avaliar o solo, no que se refere ao comportamento geotécnico, elegeu-se como área de estudo, a área de entorno da voçoroca da Avenida Contorno, situada na zona urbana do município de Anápolis (Figura 1), localizada no Estado de Goiás.

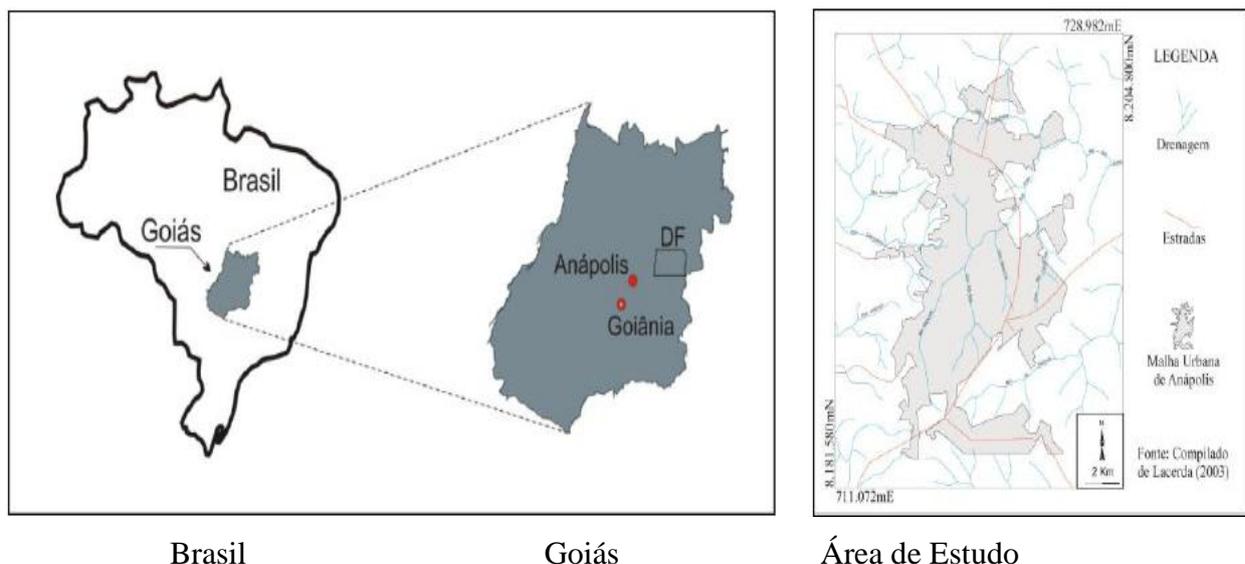


Figura 1 - Localização da área de estudo
Fonte: Elaborado por Jesus (2009)

A região é limitada pelos paralelos $16^{\circ}19'48''S$ e $48^{\circ}58'23''W$ de Greenwich, com altitudes entre 800 e 1.160 m na zona fisiográfica do Mato Grosso Goiano, onde se inicia o Planalto Central, no sul do Estado de Goiás.

Foram coletadas amostras entorno da Voçoroca Contorno, na porção mais a montante, nos horizontes do manto de alteração residual (Figura 2).

As coletas das amostras em cada ponto foram realizadas com coletor metálico que

foram encaminhados para a câmara úmida do laboratório de solos da UEG onde permaneceram até a data da viagem, para realização dos ensaios de caracterização física no laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, cujos procedimentos metodológicos serão, respectivamente, descritos a seguir; a partir das amostras coletadas entorno da voçoroca, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização: análise granulométrica conjunta, massa específica dos grãos de solo (ρ_s), massa específica natural (ρ) CEN ISO/TS 17892-3 e limites de plasticidade e liquidez CEN ISO/TS 17892-1. A análise granulométrica foi realizada conforme procedimentos da norma da CEN ISO/TS 17892 – 4. A escala granulométrica utilizada para a classificação textural dos solos segue a norma da ABNT (NBR-6502/95). Para as amostras indeformadas, foram determinadas as curvas de retenção de água, de acordo com a norma ASTM D6836, utilizando-se coletor retangular metálico (Figura 2).

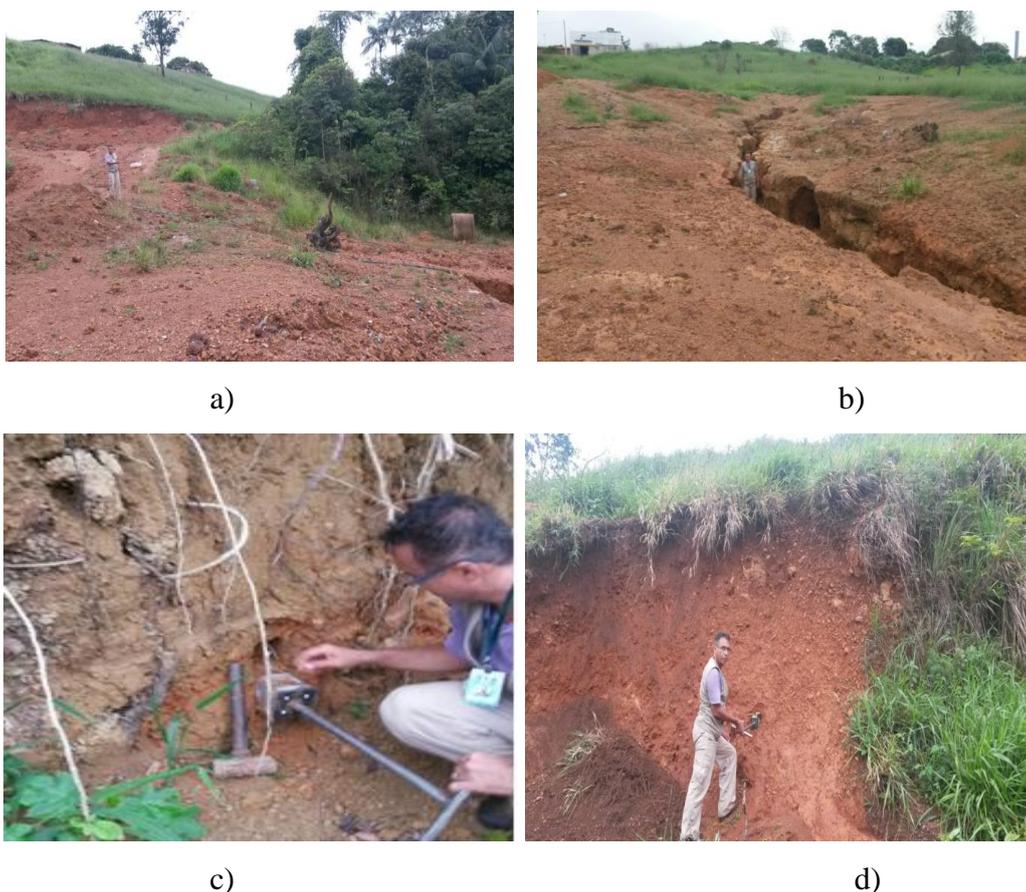


Figura 2 - Área do entorno da Voçoroca Contorno: (a) Vista do manto residual de alteração (b) Voçoroca secundária que se instalou na área (c e d) Aspectos da amostragem de solo indeformado.

Fonte: Autores, 2017

Foram coletadas amostras na parte interna da voçoroca, porção mais a jusante do talude. Um perfil de solo pode ser descrito, quanto aos seus horizontes, de diversas maneiras. Na engenharia, cada horizonte do perfil pode ser considerado como um solo distinto. As amostras foram coletadas na perspectiva da engenharia geotécnica que considera os horizontes A e B como manto de alteração, residual ou transportado, e o horizonte C corresponderia a um solo residual jovem. Deste modo, foram coletadas três amostras distintas uma no horizonte B, outra no horizonte C e outra na faixa de transição entre os horizontes anteriores (Figura 3). No perfil em questão o manto de alteração transportado (HB) possui cerca de 1 m de espessura, podendo alcançar em outros locais do talude até 1,30 m. A faixa de transição denominada neste trabalho de horizonte de transição (HT) possui espessura variável que não ultrapassa 50 cm.

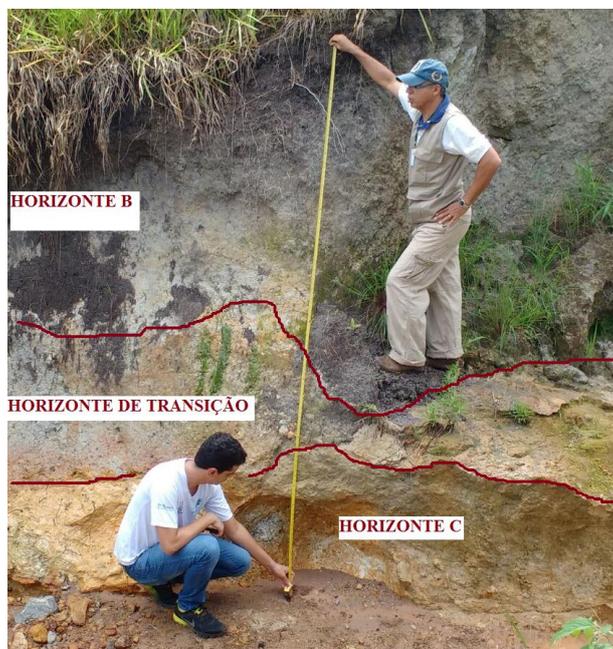


Figura 3- Perfil do solo da área de estudo

Fonte: Autores, 2017

O residual jovem, identificado no texto como horizonte C (HC), no perfil onde foi coletado possui cerca de 50 cm, mas chega a atingir aproximadamente 4 m de espessura em outros pontos do talude da voçoroca.

As coletas das amostras em cada ponto foram realizadas com testemunhadores metálicos que foram encaminhados para a câmara úmida do laboratório de solos da UEG onde permaneceram até realização dos ensaios de caracterização, cujos procedimentos metodológicos serão, respectivamente, descritos a seguir; a partir das amostras coletadas entorno da voçoroca, foram realizados os seguintes ensaios de caracterização: táctil visual,

análise granulométrica, massa específica dos grãos de solo (ρ_s), limites de Atterberg (limite de liquidez e plasticidade). A análise granulométrica foi realizada conforme procedimentos da norma da ABNT (NBR-7181/84). A escala granulométrica utilizada para a classificação textural dos solos seguiu a norma da ABNT (NBR-6502/95). Os limites de Atterberg (limites de liquidez e limites de plasticidade) foram realizados segundo recomendações da norma da ABNT (NBR-6459/84 e NBR 7180/84) e a textura a partir dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação.

Resultados e Discussão

• Caracterização dos Solos

O ensaio de caracterização granulométrica por peneiramento e sedimentação, utilizando-se defloculante, demonstrou que se trata de material muito fino, com mais de 85% passando na peneira nº 200.

No Quadro 1 são apresentados os teores de umidade (W), índices de vazios (e), grau de saturação (S), pesos específicos dos grãos do solo (γ_s) e do solo seco (γ_d) e um resumo da granulometria.

A amostra 1, apresentou um percentual de areia de 21,8%, fração silte de 44,30% e fração argila de 33,90%. solo 02, apresentou percentuais de areia (18,50%) e argila (21,50%) mais baixos, quando comparados com a amostra 01.

Já os percentuais de silte foram muito superiores aos do solo 01, atingindo 60,00%. É importante destacar que o solo 02, apresentou uma quantidade considerável de fração silte em detrimento a diminuição da fração argila.

Observa-se na Figura 2.b, área correspondente ao solo 2, uma incisão com profundidade média de 60 cm. Segundo Camapum *et al.* (2001), sulcos são pequenos canais, de até 10 cm de profundidade, gerados pela concentração do escoamento superficial.

Na opinião dos autores (2017), o termo ravina deveria ser aplicado para os canais com profundidade superior a 10 cm, com profundidade máxima limitada a 50 cm ou aquela para a qual começa a ocorrer instabilidade dos taludes por deficiência de coesão real e de cimentação.

Quadro 1- Parâmetros geotécnicos das amostras de solos analisadas

Amostras	Granulometria (%)					Propriedades de estado das amostras				
	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila	W (%)	e	S (%)	γ_d (KN/m ³)	γ_s (KN/m ³)
Solo 01	7,0	6,7	8,10	44,30	33,90	32,19	1,00	83,02	16,75	25,35
Solo 02	6,0	7,0	5,50	60,00	21,50	28,23	0,94	79,70	16,75	26,08

Fonte: Autores, 2017

Nessa classificação, a partir da profundidade limite estabelecida para a ravina, ter-se-ão as voçorocas, sobre as quais passam a intervir a instabilização dos taludes associada ou não aos fenômenos de erosão interna ou de esqueletização.

O fato da incisão da área em estudo ter profundidade superior a 50 cm, corrobora para a hipótese do autor. Na voçoroca atuam, em separado ou conjuntamente, vários processos erosivos, sendo palco de erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos, escorregamentos de taludes e quedas de blocos.

Em meio urbano, as voçorocas são originadas pela ampliação do volume e concentração de águas superficiais e por lançamentos inapropriados das drenagens de águas pluviais. Geralmente, o problema se agrava quando da mistura de águas residuárias águas pluviais do sistema de drenagem. Ainda ligadas ao lançamento de sistemas de drenagem estão às ravinas e voçorocas junto a rodovias, ferrovias e outras obras de engenharia.

Muito provavelmente esses elementos mencionados estão contribuindo para o avanço da voçoroça da av. Contorno. Outro efeito diz respeito ao aumento da rugosidade superficial, contribuindo para a maior turbulência do fluxo no contato solo-água, auxiliando, assim, no arranchamento de partículas e formação de filetes de água. As partículas de solo desprendidas, principalmente as de argila, caso não sejam carreadas pelo fluxo superficial, podem atuar selando a superfície do terreno e dificultando a infiltração, o que termina por propiciar o aumento do escoamento superficial e intervir indiretamente no processo erosivo.

O fato dos percentuais de argila nas amostras de solos estudadas variarem de 21,50% a 33,90 (Quadro 1), podem ter contribuído para o efeito de diminuição da infiltração, aumentando desta forma, os processos erosivos na região em estudo.

De acordo com a plotagem dos valores de limite e índice de plasticidade na carta de plasticidade, foi possível classificar os solos segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS). Conforme esta classificação o solo 01 seria classificada como MH, silte

clástico (Quadro 2). Quanto ao solo 02, também pode ser considerada como um solo siltoso clástico de valor de plasticidade 33,97.

Quadro 2 - Classificação SUCS com base nos limites de Atterberg

Amostras	Limites de Atterberg (%)			Classificação (SUCS)
	w _L	w _P	I _P	
Solo 01	50,72	33,77	17,95	MH (Silte clástico)
Solo 02	50,04	33,97	17,07	MH (Silte clástico)

Fonte: Autores, 2017

Segundo Pinto (2002), os limites se baseiam na constatação de que um solo argiloso ocorre com aspectos bem distintos conforme o seu teor de umidade. Quando muito úmido, ele se comporta como um líquido; quando perde parte de sua água fica plástico; e quando mais seco torna-se quebradiço.

- **Curva de retenção dos Solos**

No processo de formação dos solos não-saturados em ambientes intemperizados a infiltração das águas de chuva exerce papel preponderante na instabilização dos maciços, uma vez que pode contribuir para a redução dos parâmetros de resistência (MENESES *et al.*, 2010).

Em solos tropicais, por exemplo, o efeito do umedecimento do solo pode eliminar a cimentação e a sucção, propriedades estas que contribuem para a estabilidade do solo. Enquanto o aumento do teor de umidade dissolve os agentes cimentantes, reduzindo a coesão aparente, pode diminuir as tensões de sucção causando bruscas reduções de volume e colapso do solo (CAMPOS *et al.*, 2002). No entanto, nos solos profundamente intemperizados deve-se ainda levar em conta a distribuição de poros. A título de exemplo da influência desses parâmetros na forma das curvas características, as Figuras 3 e 4 apresentam estas curvas respectivamente em função do grau de saturação e da umidade.

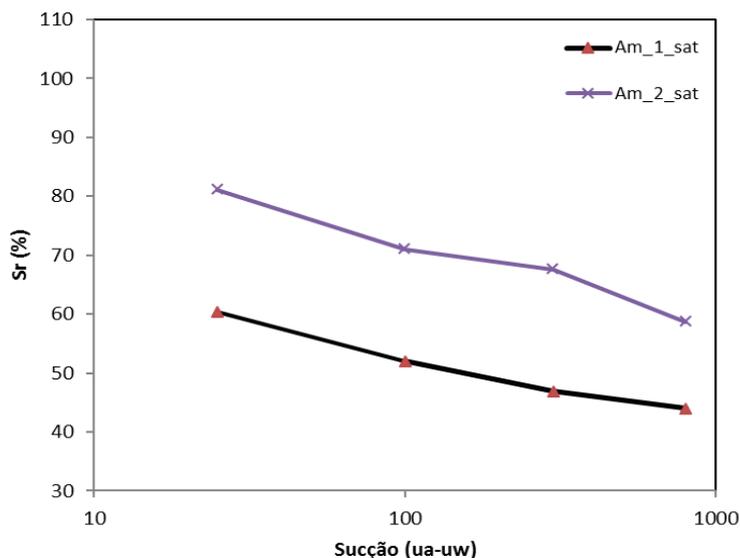


Figura 3 - Curvas características de retenção em função do grau de saturação (Sr), obtidas para os solos amostrados, 01 e 02.

Fonte: Autores, 2017

kPa

Os resultados obtidos para os solos coletados a 1 m de profundidade no mesmo perfil de intemperismo que vem sendo considerado.

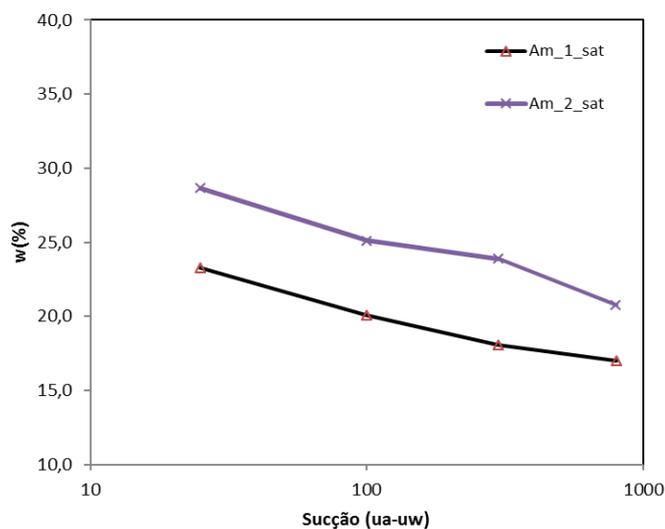


Figura 4 - Curvas características de retenção em função da umidade, obtidas para os solos amostrados, 01 e 02.

Fonte: Autores, 2017

Observa-se que para a amostra 1 a um valor de sucção de aproximadamente 100 kPa a variação de umidade tem teor em torno de 2 %. Para amostra 2, considerando o valor de sucção de 100kPa, existe uma variação m de umidade quando comparada com a amostra 1, em torno de 4%.

Em ambas as amostras, a entrada de ar no solo se dá pelos macroporos a um valor de sucção, aproximadamente de 50 kPa. Portanto, no perfil de intemperismo não só a forma da curva característica muda com o nível de intemperização como também os próprios valores de sucção para uma determinada condição específica de umidade e/ou porosidade.

O solo 02 por apresentar índices de vazios relativamente menores (Quadro 1), evidencia a importância da pequena variação de umidade quando comparada com o solo 01, para um mesmo valor de sucção.

Estudos realizados por Camapum *et al.* (2014), salienta que além dos fatores intrínsecos do solo quanto a porosidade, o fechamento da macroporosidade pode ser oriundo de ciclos de molhagem e secagem, pisoteio de animais e passagem de máquinas tornando o solo saturável a menores teores de umidade ao mesmo tempo em que para um mesmo grau de saturação, dependendo da localização do Sr na curva característica, o solo quando submetido à redução do índice de vazios estará sujeito a sucção mais elevada gerando reflexos no processo erosivo. O fato do solo 02, está situado em uma área sem cobertura vegetal, aliada ao pisoteio de animais e a passagem de pedestre, corrobora com as pesquisas do autor.

O potencial de retenção de água depende ainda da natureza mineralógica e superfície das partículas que compõem o solo. De acordo com Camapum *et al.* (2014), em se tratando de solos tropicais, o intemperismo e a acidez são responsáveis pela agregação de partículas cimentadas ou não por óxidos e/ou hidróxidos de alumínio e/ou ferro. Nos solos tropicais, os macroporos ocorrem inter-agregados, enquanto os microporos estão intra-agregados, estes muitas vezes podendo apresentar volume total maior que o dos microporos (CARDOSO *et al.*, 2002).

- **Cisalhamento direto**

Dado o número limitado de amostras para constituir um número suficiente de corpos de provas, foram ensaiados 3 provetes representativos. Sendo 1 provete de cada amostra 1 e 2 e o terceiro, a partir, da homogeneização do material das duas amostras referidas anteriormente. Idealmente, são necessários para determinar cada nível de sucção (incluindo saturados) 9 corpos de prova para cada amostra.

O objetivo era realizar ensaios de cisalhamento direto que nos permitisse:

1. Definir bem a linha do estado crítico, ou a volume constante; determinada pelo corpo de prova com material remoldado; em caso de falta de material em quantidade suficiente, admitir-se-ia que o ensaio em tensão efetiva vertical sendo representativo do local

de recolha e moldado relativamente solto, daria informação base daquele estado. Ou seja, do ângulo de atrito a volume constante ϕ'_{cv} .

2. Com corpos de prova talhados a partir da amostra indeformada, de maneira a preservar, dentro do possível, a sua integridade estrutural (cimentícias). Posteriormente, montados no equipamento de cisalhamento direto e inundados – pressupondo que nesta condição o grau de saturação é 100%, logo, a sucção nula – realizar-se-iam três ensaios em tensões verticais confinantes distintas para definir a envoltória de Mohr-Coulomb do solo natural saturado.

3. Em corpos de prova igualmente preparados como descrito no item 2, acima, com teor de umidade diferenciados – procurando três corpos de prova com grau de saturação homogêneo mas diferentes do anterior - realizar-se-iam três ensaios de cisalhamento direto com tensões confinantes. Tomando o cuidado em proteger a caixa da umidade ambiente e manter o teor de umidade. E, no final, determinar-se-iam os teores de umidade dos corpos de prova pós-rotura.

As curvas de sucção deveriam ser determinadas em corpos de provas também recolhidos das amostras indeformadas e a partir delas seriam avaliados os valores correspondentes de sucção. Propõe-se um modelo assim fundamentado para se definir a envoltória em termos dos parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb clássico: c' , ϕ' , ϕ'_{cv} e os adicionais que levam em conta o efeito da sucção (ϕ_b que reflete a dependência da daquela da posição da envoltória, conforme Fredlund (1978).

O modelo referido segue a equação:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \cdot \tan \phi_b$$

É observado na Figura 5, resultados de testes, tensão de corte versus tensão vertical, sob diferentes procedimentos, hipoteticamente ideais, adaptado de Vanapalli *et al.* (1996).

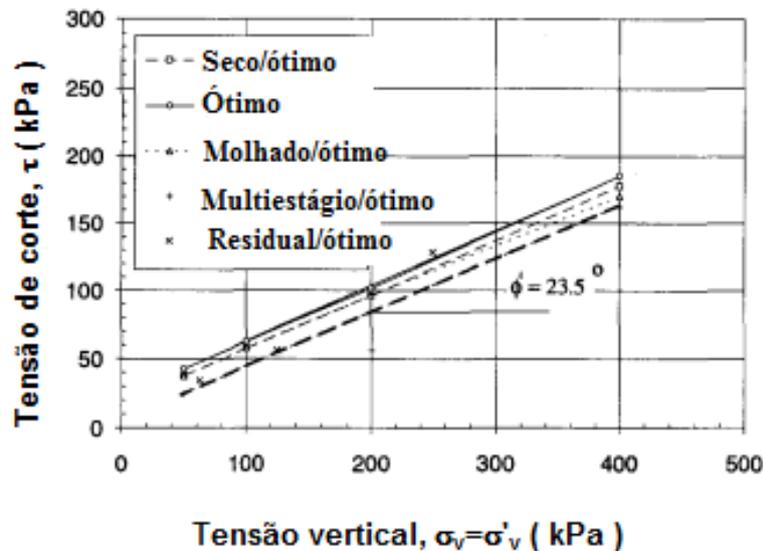


Figura 5 - Resultados de testes de resistência ao cisalhamento direto saturado sob diferentes procedimentos, hipoteticamente ideais, adaptado de Vanapalli *et al.*(1996).

Fonte: Elaborado por Vanapalli (1996)

Apesar do número limitado de amostras, seguiu-se o pressuposto do modelo anteriormente descrito, Sendo cientes da necessidade de mais estudos, a serem desenvolvidos futuramente. Como dito, foi possível talhar apenas 2 corpos de prova representativos.

Decidiu-se por realizar um ensaio em condição inundada, sucção nula ($S=0$) e com teor de umidade natural, no fim desses ensaios o solo foi homogeneizado, remoldado com o teor de umidade próximo do limite de liquidez e, posteriormente, acondicionado na caixa, sob regime inundado.

Finalmente, dos três resultados procurou-se uma aproximação do modelo com um ponto de cada envoltória resultante da resistência obtida, para a mesma tensão vertical de confinamento.

Com os resultados do ensaio do provete remoldado definiu-se uma reta na origem no espaço $\tau \times c'$. Com os demais resultados, simplificando, significativamente, esta aproximação da envoltória na origem, e os valores do inteceto coesivo para o solo natural com sucção nula (representativa, supostamente, das ligações cimentíciais interparticulares) e da sucção correspondente ao teor de umidade natural. Cujo valor foi indeferido da curva caracterísitica que se segue abaixo.

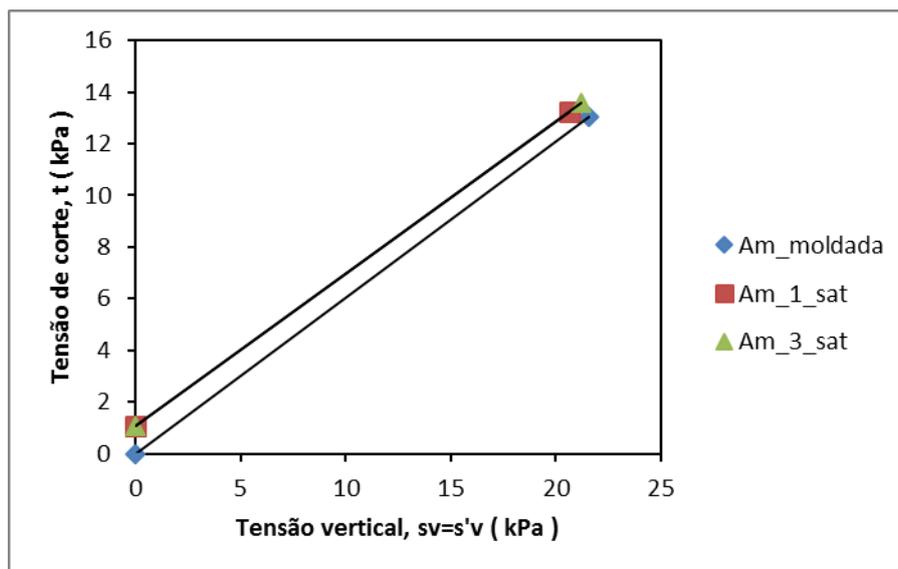


Figura 6 - Modelo Mohr-Coulomb simplificado para amostras, 1, 2 e remoldada.
Fonte: Autores, 2017

Cumpr-se o objetivo, simplificadamente, de se deduzir os parâmetros do modelo referido: c' ($S=0$), ϕ_b , ϕ'_{cv} . Nos quadros que se seguem apresentam-se os valores obtidos para as 3 amostras ensaiadas e, por último os parâmetros clássicos de resistência de Mohr-Coulomb.

Quadro 3- Tensão normal e de cisalhamento das amostras dos solos

Amostras	Tensão Normal (σ) (kPa)	Tensão Cisalhante (τ) (kPa)
SOLO 01	20,4	15,2
SOLO 02	21,5	18,7
AM. REMOLDADA	21,6	13,0

Fonte: Autores, 2017

OBS: AM.=Amostra

Quadro 4 - Parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb das amostras dos solos

Amostras	ϕ'_{cv}	C' saturado	ϕ_b
SOLO 01	32,6	1,1	88,5°
SOLO 02	32,6	1,1	89,4°
AM. REMOLDADA	31,1	0	-

Fonte: Autores, 2017

OBS: AM.=Amostra

Guimarães (2002), ao realizar ensaio de cisalhamento direto para o perfil de intemperismo de um solo do Distrito Federal, verificou que os valores de coesão são marcadamente distintos ao se comparar os resultados obtidos de ensaios realizados sobre amostras naturais nos estados não saturados e inundados. Os resultados obtidos por esse autor ilustram a variação da coesão com a sucção para um perfil de solo regional. Um outro aspecto a ser levado em conta, quando se analisa a coesão dos solos lateríticos porosos não saturados regionais, é o da variação do ângulo de atrito com a sucção, pois este parâmetro, ao variar, altera a coesão determinada.

No perfil amostrado, o ensaio de caracterização granulométrica por sedimentação demonstrou que a amostra HB ao ser submetida à sedimentação, utilizando-se do defloculante, apresentou um percentual de areia de 69,59%, silte de 10,39% e da fração argila de 20,02%. É importante destacar que esta amostra apresentou uma quantidade considerável de fração grossa, que muito provavelmente se incorporou ao solo por contribuição coluvionar. Isso se deve ao fato de, embora o solo analisado seja considerado residual, o perfil onde foi feita a coleta das amostras localiza-se, na baixa vertente, subordinado ao aporte de material de montante.

Para a amostra HC, como uso de defloculante os percentuais de areia diminuíram em média cerca de 50%, e os percentuais de fração silte passaram para 44,58%, ou seja, aumentaram cerca de 4 vezes mais em relação aos teores da amostra HB.

Quadro 5 - Percentuais granulométricas dos horizontes amostrados e atividade da argila.

Amostras	Granulometria (%)					A _t
	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila	
HB	38,12	23,44	8,03	10,39	20,02	0,59
HC	16,01	8,92	5,51	44,58	24,98	0,58

Fonte: Autores, 2017

Obs. At, representa atividade da argila

De acordo com a plotagem dos valores de limite de plasticidade e índice de plasticidade na carta de plasticidade foi possível classificar as amostras segundo a sistema de classificação unificada dos solos (SUCS). De acordo com esta classificação a amostra HB seria classificada como SC, areia argilosa com alta plasticidade (Quadro 6). Já a amostra HC também pode ser considerada como uma amostra siltosa de valor de plasticidade 17,52, mas o valor de limite de liquidez ficou muito próximo de 30%. Já a amostra HC pode ser considerada como ML, ou seja, uma areia siltosa com baixa plasticidade.

Quadro 6 - Classificação SUCS com base nos limites de Atterberg.

Amostras	Limites de Atterberg (%)			Classificação (SUCS)
	WL	WP	IP	
HB	29,40	17,52	11,88	SC (areia argilosa)
HC	47,10	32,60	14,50	ML com areia

Fonte: Autores, 2017

Em relação a textura dos solos, constitui-se um dos principais aspectos físicos que distinguem os solos tropicais lateríticos dos demais tipos de solo. Enquanto, de um modo geral, nos demais tipos de solos é possível pensar na textura como a granulometria das partículas individualizadas dos minerais (argilas), ou de um grupo de minerais solidamente ligados, em se tratando de solos lateríticos, as partículas individualizadas, mesmo no caso das argilas, dificilmente se apresentam com propriedades e comportamentos que refletem a própria individualidade.

É observado na Figura 7 uma imagem da estrutura típica dos solos residuais intemperizados e na figura 4, o solo saprolítico do horizonte C. Os horizontes B e C, os solos encontram-se estruturalmente formado por agregados possuindo macroporos entre eles e microporos em seu interior (Figura 7).

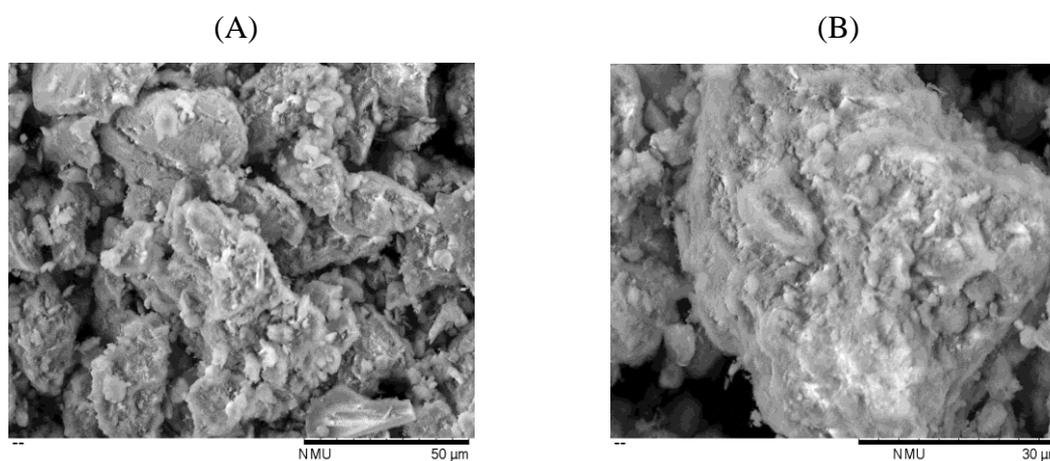


Figura 7 - Micro estrutura de um solo residual, do horizonte HB, em **A**, aumento de 1200 e em **B**, aumento de 2500.

Fonte: Autores, 2017

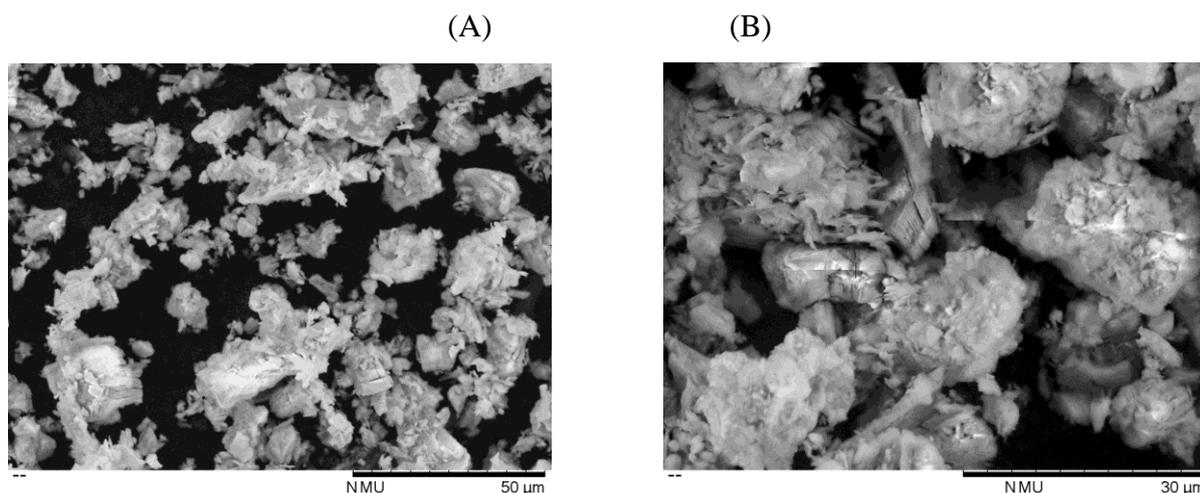


Figura 8 - Micro estrutura de um solo residual, do horizonte HC, em **A**, aumento de 1200 e em **B**, aumento de 2500.

Fonte: Autores, 2017

Os estudos realizados por Camapum *et al.* (2016), já mencionavam a importância da textura, aliada a presença de macro poros interferindo diretamente no comportamento do solo, afetando parâmetros hidráulicos e mecânicos, assumindo grande influência e importância no surgimento e evolução dos processos erosivos em áreas de Voçorocas.

Conclusões

Os resultados dos ensaios de caracterização física apontam que o solo 01, apresentou um percentual de areia de 21,8%, fração silte de 44,30 e da fração argila de 33,90%.

O solo 02, percentuais de areia (18,50%) e argila (21,50%) mais baixos, quando comparados com o solo 01. Já os percentuais de silte foram muito superiores ao da amostra 01, atingindo 60,00%.

De acordo com os valores dos limites e índices de plasticidade, foi possível classificar os solos segundo o sistema de classificação unificada dos solos (SUCS) como MH, silte clástico.

As tensões de cisalhamento para os solos tiveram comportamento semelhantes, chegando a 15,20 kPa (solo1), 18,70 kPa (solo 2) e para amostra remoldada, 13,0 kPa . Já os ângulos de atrito interno apresentaram valores de 32,6⁰ para os solos 01 e 02 e para amostra remoldada, 31,1⁰.

Referências

BASTOS, C. A. B. (1999). **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 269 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BENDER, H. **Erosion, um probleme de resistance au cisaillement em fonction du chemin des contraintes pendant l'infiltration**. Proceedings of 1th International Conference on Tropical Soils. Brasília, Brasil, p. 15-25, 1985.

CAMAPUM C, J.; FÁCIO, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos do Distrito Federal**. 10º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Foz do Iguaçu (CD_ROM), 1994.

CAMAPUM C, J., LIMA, M. C.; MORTARI, D. **Considerações sobre prevenção e controle de voçoroca**. 7º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia (CD_ROM), 2001.

CAMAPUM C, J., GOUTTE, M., GITIRANA JÚNIOR, G. F. N.; MASCARENHAS, M. M. A., GUIMARÃES, R. C.; LUZ, M. P. **A sucção no contexto dos processos erosivos**. 10º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia (CD_ROM), 2014.

CAMPOS, L. E. P. **Utilização de parâmetros de solos não saturados em encostas**. Congresso Argentino de Mecânica de Suelos e Ingenieria Geotecnica, Patagônia, 2002 (Anais).

CARDOSO, F. B. F. **Propriedades e comportamento mecânico de solos do planalto central brasileiro**. 2002. 357 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

CEN ISO/TS 17892-1; Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 1: **Determination of water content of soil** (ISO/TS 17892-1:2004).

CEN ISO/TS 17892-2; Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 2: **Determination of density of fine-grained soil** (ISO/TS 17892-2:2004).

CEN ISO/TS 17892-3 Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 3: **Determination of particle density: Pycnometer method** (ISO/TS 17892-3:2004).

FÁCIO, O. J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. 1991. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R.; WIDGER, R. A. - The shear strength of unsaturated soils. **Canadian Geotechnical Journal**, n. 15, 1978. 9 p.

GUIMARÃES, R. C. **Análise das propriedades e comportamento de um perfil de solo laterítico aplicada ao estudo do desempenho de estacas escavadas**. 2002. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

JESUS, A. S., LOPES, L. M., CARVALHO, J. C. **Erosão acelerada e suas interferências na qualidade de vida: o exemplo da Alta Bacia do Rio das Antas na área urbana de Anápolis (GO)**. 13º Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa (CD_ROM), 2009.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, p. 73-76.

VANAPALLI, S. K., FREDLUND, D. G., PUFahi, D. E., CLIFTON, A. W. Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction. **Canadian Geotechnical Journal**, n. 33, 1996. 379 p.