PARÂMETROS DE EROSÃO E GEOTÉCNICOS DE SOLOS DA BACIA DAS CODORNAS

Erosion and Geotechnical Parameters of Codornas's Watershed Soils

Rodrigo Fábio Viana*
Dario Cardoso de Lima**
Paulo P. Martins Jr.***
Liovando Marciano da Costa****
Eduardo Antônio G. Marques**

RESUMO - O objetivo deste artigo é apresentar resultados de um estudo sobre a erodibilidade de solos da Bacia das Codornas, situada entre as cidades de Itabirito e Nova Lima, no Estado de Minas Gerais, Brasil. Três amostras indeformadas e deformadas foram coletadas, determinando-se os seus parâmetros geotécnicos em laboratório. Nas amostras indeformadas foram realizados ensaios Inderbitzen, no teor de umidade natural e após saturação das amostras, e ensaios de desagregação. Os resultados dos ensaios mostram que o substrato geológico é um condicionante expressivo na evolução dos processos de voçorocamento, quando expostos os horizontes de solos saproliticos.

SYNOPSIS - This paper presents data from a study directed to the analysis of the erosion mechanical response of soils from the Codornas' watershed, located between the cities of Itabirito and Nova Lima, in the Minas Gerais State, Brazil. Three undisturbed and disturbed soil samples were collected and tested in a laboratory program envisaged to determine their geotechnical characterization parameters. Erosion parameters (Inderbitzen and desegregation laboratory tests) were also determined for all undisturbed soil samples. The laboratory testing data support that there is an expressive relationship between the erosion evolution process and the geologic characteristic of the substrata when considering the exposed saprolitic soils.

1 - INTRODUÇÃO

O tópico erosão de solos tem sido foco de debates que convergem na identificação do homem como um dos agentes da degradação do meio ambiente. Na década de 90, principalmente, foram publicados vários trabalhos abordando este tema, dentre os quais destacam-se Martins Jr. *et al.* (1994), Sobreira (1995), Carvalho (1995) e Pruski (1997). Estudos específicos, como os apresentados por esses autores, têm buscado apresentar novas maneiras de abordar tal questão, ressaltando-se a relevância dada à interação entre as variáveis regentes do processo erosivo.

Segundo Martins Jr. e Rosa (1994), os zoneamentos regionais e de bacias hidrográficas permitem identificar os diversos subsistemas telúricos, hídricos e bióticos de uma região, bem

* M.Sc., Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (MG)
** Professor, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (MG)
*** Pesquisador, CETEC-MG; Professor, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (MG).
**** Professor, Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (MG).

como as estruturas e funções dos sistemas naturais e construídos. A identificação destes subsistemas significa cartografar áreas de uma bacia ou de uma região cujas características específicas ofereçam respostas também específicas aos diversos tipos de impactos.

Neste artigo aborda-se aspectos erosivos e a caracterização geotécnica de solos da bacia das Codornas que se enquadra na bacia do Rio das Velhas como sendo de 4° (quarto) grau. Essa classificação difere da apresentada por Harbaugh e Merrian (1968), pois considera o rio principal como sendo o de 1° (primeiro) grau, neste caso o rio São Francisco. A partir de então tomam-se os principais afluentes em cada bacia subseqüente, e. g., rio das Velhas , 2° grau, e rio do Peixe, 3° grau.

Do ponto de vista ambiental, a bacia das Codornas, nos municípios de Itabirito e Nova Lima, ambos no Estado de Minas Gerais, Brasil, é colocada como um alvo de estudo importante, pela sua área física considerável e pelo número elevado de intervenções antrópicas que contribuem, dentre outros fenômenos, para a sua erosão e assoreamento.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

A área escolhida para estudo é a bacia das Codornas, na parte central do Estado de Minas Gerais, por ser uma região que apresenta diversos problemas, tais como: erosão, aceiros, desmatamentos, assoreamentos, dentre outros impactos ambientais, podendo ser considerada como um laboratório adequado para estudos relativos à geologia, geomorfologia, morfometria, geotecnia e gestão ambiental.

Esta bacia, representada na Fig. 1, é parte integrante da bacia do Alto Vale do Rio das Velhas, sendo este último afluente da margem direita do rio São Francisco. Ela encontra-se compreendida entre os paralelos 20° 07' 20" e 20° 17' 20" de latitude Sul e os meridianos 43° 50'e 44° 00'de longitude Oeste de Greenwich, sendo delimitada a Oeste pela serra da Moeda, a Leste pela serra de Itabirito, ao Norte pela lagoa homônima e ao Sul por um conjunto de montanhas.

A malha densa de estradas vicinais e estradas asfaltadas facilita o deslocamento na área, com exceção dos locais ainda não explorados. O acesso principal à área faz-se pela BR 040, no sentido Belo Horizonte ao Rio de Janeiro, e MG 156, no sentido Belo Horizonte a Ouro Preto.

Amostras indeformadas, representativas do solo quanto à sua estrutura, umidade, textura e constituição mineralógica, foram retiradas em blocos de 30 x 30 cm, segundo os procedimentos recomendados pela NBR 9604/86. Retirou-se um total de quatro amostras indeformadas e quatro amostras deformadas nas principais formações identificadas na área, a saber: colúvio (COL1), residual de filito (RFIL), maravilhas 1 (MAR1) e maravilhas 2 (MAR2). Os locais de coleta das amostras, como se mostra no Quadro 1, foram escolhidos considerando-se, dentre outros fatores, a representatividade, a disposição geográfica e o acesso ao local de amostragem. Contudo, apenas três destas amostras foram utilizadas para a realização dos ensaios de resistência ao cisalhamento (ensaios de cisalhamento direto) e de erodibilidade (Inderbitzen e desagregação), pois a amostra MAR1, pela sua composição granulométrica, impossibilitou a moldagem de corpos de prova.

Obtidas e identificadas as amostras deformadas e indeformadas nos trabalhos de campo, procedeu-se à realização dos ensaios de laboratório que possibilitaram obter dados para a parametrização. Estes foram classificados como ensaios específicos para a análise do fenômeno erosivo e ensaios fornecedores de características adicionais para análise do grau de diferenciação do comportamento dos solos quanto aos aspectos erosivos.

Os ensaios específicos para a análise do fenômeno erosivo foram o de Inderbitzen e o de desagregação. O ensaio Inderbitizen que consiste na passagem de um fluxo d'água sobre uma amostra indeformada, simulando uma situação real de fluxo superficial, como se mostra na Fig.

2, foi realizado segundo normatização do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem do Brasil (DNER, 1979).

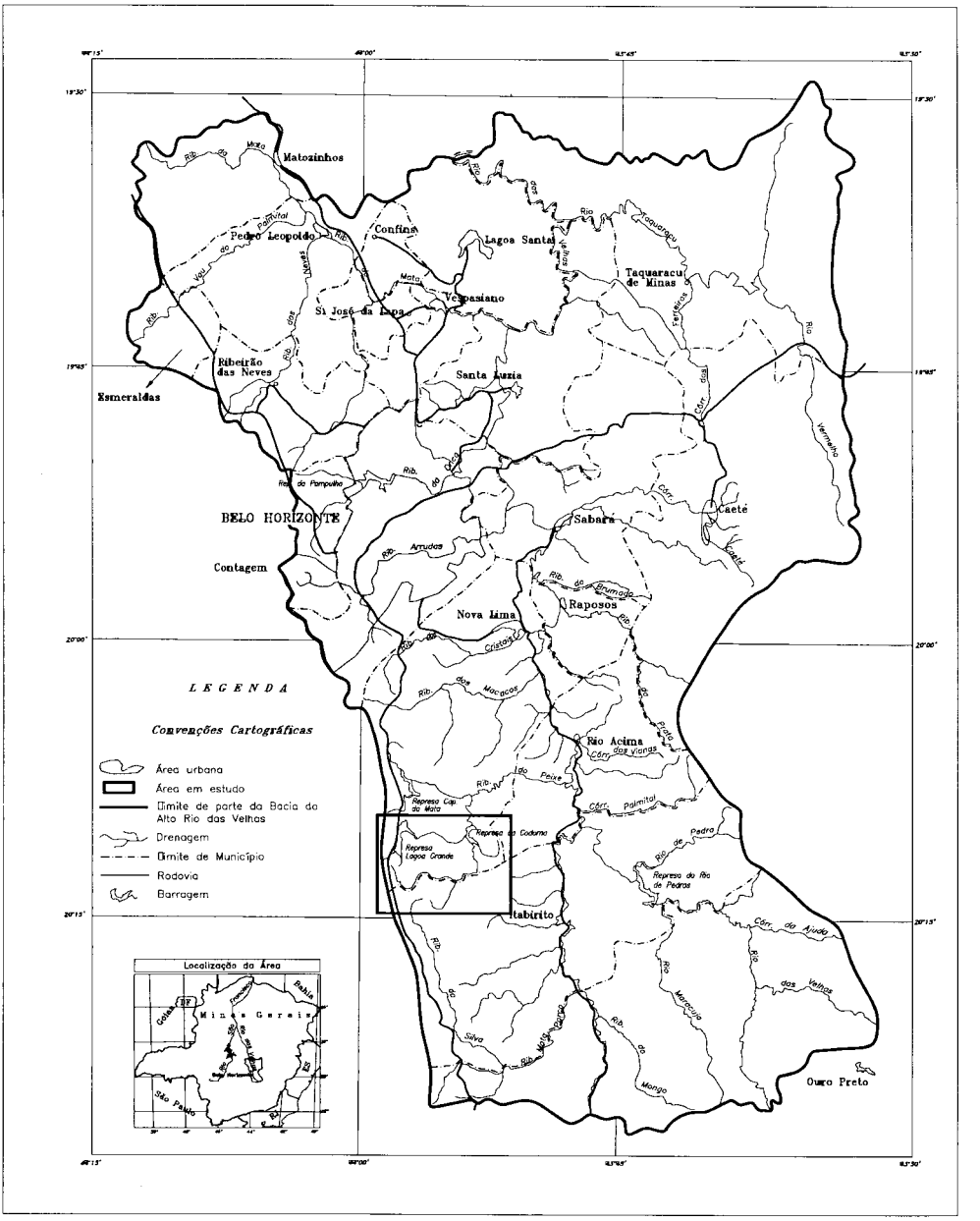

Fig. 1 - Localização geográfica da área de pesquisa (Cantisano, 1998).

Quadro 1 - Posição das amostras em função do relevo.

AMOSTRAS	POSIÇÃO/PROFUNDIDADE
MAR1	Meia encosta/profundidade de 20 a 50 cm
COL1	Meia encosta/profundidade de 10 a 40 cm
RFIL	Sopé/profundidade de 5 a 35 cm

Fig. 2 - Fluxo de água sobre a amostra indeformada durante a realização do ensaio.

Nesse ensaio, após a preparação da amostra indeformada em anel próprio, procede-se à sua colocação no equipamento e ao posterior controle da vazão, para se dar início ao ensaio. Esse avança com a passagem de um fluxo uniforme e contínuo sobre a superfície da amostra. A coleta dos sedimentos carreados é feita em intervalos pré-definidos (5, 15, 30, 60 e 120 minutos), visando obter bases para a confecção de gráficos para o cálculo do fator erodibilidade do solo. O DNER (1979) indica que a erodibilidade deve ser avaliada com os dados fornecidos a 5 minutos de ensaio, empregando-se o restante dos dados como base para a confecção de um gráfico de tendências.

Optou-se por conduzir as análises utilizando apenas a vazão de 120 cm^3/s, que corresponde àquela para chuvas intensas num período de tempo de 30 minutos, para um tempo de retorno de 10 anos na área de interesse da bacia das Codornas. Para tal cálculo, utilizou-se a equação proposta por Pinto (1995) para as estações de Belo Horizonte, Ouro Branco e Viçosa. A inclinação da rampa adotada foi de 44 graus, em correspondência à inclinação máxima encontrada nos locais de retirada das amostras e em vários locais da bacia onde ocorre erosão acentuada. O fato de se dispor de apenas uma amostra para a realização dos ensaios Inderbitzen em cada amostra indeformada levou a que se adotasse o resultado de um ensaio como a medida da erodibilidade dos solos em questão.

No que se refere ao ensaio Inderbtizen, segundo Faccio (1991), faz-se necessário uma pré-embebição da amostra antes de sua realização. Desse modo, toma-se então, para a mesma velocidade de escoamento, duas amostras, sendo uma no estado natural e outra com 15 minutos de pré-embebição em água. Realiza-se um total de 8 ensaios com duração máxima individual de 2 horas cada, com leituras após 5, 15, 30, 60 e 120 minutos, conforme as normas vigentes (DNER, 1979).

Os ensaios de desagregação consistiram na colocação das amostras de solo dentro de uma bandeja com água, observando-se então as suas reações físicas ao processo de submersão. Nos ensaios, amostras cúbicas de 6 cm de lado foram colocadas em duas bandejas. Na primeira, submeteram-se as amostras à imersão total, desde o início do ensaio, prosseguindo sob esta condição até o final do mesmo, num total de 24 horas. Na segunda, as amostras foram colocadas primeiramente sobre uma pedra porosa com o nível de água sendo mantido na altura da base das amostras por um período de 30 minutos. Na seqüência, aumentou-se a altura de água sucessivamente para 1/3, 2/3, até a submersão total das amostras, mantendo-se entre cada uma destas fases um intervalo de 15 minutos. Após a submersão total, o ensaio prosseguiu até o período final de 24 horas.

No que tange à caracterização geotécnica dos solos, procedeu-se à realização dos ensaios de análise granulométrica, limites de consistência, massa específica e cisalhamento direto.

Os ensaios de caracterização foram conduzidos segundo as normas da ABNT: Granulometria conjunta - NBR 7181/82, massa específica dos grãos de solo - NBR 6508/80, limite de liquidez - NBR 6459/84, e limite de plasticidade - NBR 7180/94.

Quanto aos ensaios de cisalhamento direto, obedeceu-se à metodologia descrita por Head (1986). Nesses ensaios, realizados sob tensões normais de 25, 50 e 100 kPa, o tempo de inundação das amostras teve duração de 6 horas, para todos os solos. O ensaio foi executado a uma velocidade de 0,708 mm/min e considerou-se como resultado do ensaio a média de três determinações.

3 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES PERTINENTES

3.1. Ensaios de caracterização dos solos

Os resultados dos ensaios de caracterização estão apresentados no Quadro 2. Nota-se, pois, que os solos amostrados são um silte areno-argiloso (solo MAR2), uma areia argilo-siltosa (solo COL1) e uma argila silto-arenosa (solo RFIL).

Quadro 2 - Granulometria, peso específico dos sólidos ($\gamma_{sólidos}$), limites de Atterberg (LL, LP), índice de plasticidade (IP), índice de liquidez (IL).

AMOSTRAS	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA							
	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	$\gamma_{sólidos}$ (kN/m^3)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL[1]
MAR2	32	35	33	27,50	44	26	17	1,53
COL1	37	21	42	26,90	78	40	38	1,05
RFIL	51	30	19	28,50	43	24	19	1,26

Nota: [1] IL = LP/IP.

3.2. Ensaios de cisalhamento direto

O Quadro 3 apresenta os resultados dos parâmetros de resistência mecânica e os índices físicos dos corpos de prova obtidos das amostras indeformadas MAR2, COL1 e RFIL que foram ensaiadas em laboratório, nas suas umidades naturais (denominadas "não saturadas") e submersos em água (denominadas "inundadas"), no equipamento de cisalhamento direto. A Fig. 3 mostra as envoltórias de resistência ao cisalhamento obtidas nos ensaios realizados.

Quadro 3 - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto e parâmetros geotécnicos das amostras: Peso específico do solo (γ), índice de vazios (e), grau de saturação (Sr), ângulo de atrito (ϕ), coesão (c), e teor de umidade (w).

AMOSTRAS	TIPO DE AMOSTRA	γ (kN/m^3)	e	Sr (%)	ϕ (°)	c (kPa)	w (%)
MAR 2	Não Saturada	14,49	1,534	60,10	28,50	28,30	33,53
	Inundada	14,35	1,510	56,37	26,80	14,40	30,96
COL 1	Não Saturada	14,91	1,379	62,26	37,00	14,10	31,92
	Inundada	15,14	1.343	63,88	33,40	7,70	31,93
RFIL	Não Saturada	19,36	0,680	59,87	55,00	87,7	14,30
	Inundada	19,54	0,631	54,02	54,80	32,00	11,50

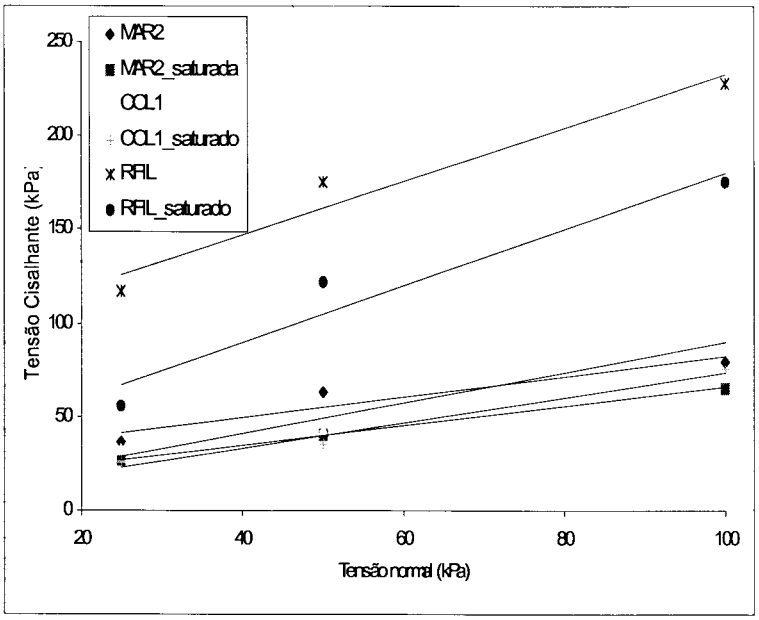

Fig. 3 – Envoltórias de resistência dos ensaios de cisalhamento direto realizados nas amostras indeformadas dos solos MAR2, COL1 e RFIL, sem imersão e após imersão em água.

Observa-se, no Quadro 3 e Fig. 3, que as envoltórias de resistência ao cisalhamento das amostras, após inundação, apresentam redução substancial no parâmetro coesão (49,12% na amostra MAR2, 45,39% na amostra COL1 e 63,51% na amostra RFIL) e, em menor escala, no parâmetro ângulo de atrito interno (5,96% na amostra MAR2, 9,73% na amostra COL1 e desprezível na amostra RFIL) quando comparadas com o comportamento das amostras ensaiadas sem inundação. Nota-se, na Fig. 3, a ocorrência de uma maior curvatura na envoltória de resistência das amostras RFIL, RFIL saturada e MAR2, provavelmente devido a fatores ligados às tensões relativamente baixas empregadas e à variabilidade espacial dos solos, tendo em vista que cada ponto da envoltória representa a média de três determinações. Provavelmente pelas mesmas razões, observa-se comportamento inverso para as amostras COL1 e COL1 saturada.

Acredita-se que o comportamento do parâmetro coesão das amostras esteja associado à quedas nas forças atrativas entre as partículas dos solos, após inundação, em especial a decréscimos na sucção das amostras ensaiadas, embora, quanto às amostras MAR2 e COL1, pelo teor de umidade relativamente elevado destas, possa-se discutir a importância deste parâmetro na resistência ao cisalhamento. No que tange ao ângulo de atrito, acredita-se que as variações observadas, de pequena monta, estejam associadas aos novos arranjos espaciais das partículas, após inundação das amostras de solos, levando a situações de menor estabilidade mecânica.

3.3. Ensaios de erosão

3.3.1. Ensaios Inderbitzen

A Fig. 4 apresenta o equipamento existente no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa para a execução do ensaio Inderbtizen. Obseva-se, nessa figura, que a idéia central do ensaio é a passagem de um fluxo d'água sobre uma amostra indeformada de 150 mm de diâmetro, simulando uma situação de escoamento superficial de fluxo contínuo numa superfície inclinada.

A Fig. 5 apresenta a relação entre os fatores erodibilidade e o tempo obtido nos ensaios Inderbitzen realizados. De acordo com o DNER (1979), o valor tomado como sendo a erodibilidade do solo (E) representa a quantidade de perda de solo registrada nos 5 minutos iniciais do ensaio, onde se observa que as curvas apresentam inclinações mais acentuadas e grande desprendimento de partículas. A comparação das curvas de erodibilidade versus tempo para as amostras naturais e embebidas em água mostrou a influência significativa das forças de sucção presentes nas primeiras, pois, com o aumento do teor de umidade das amostras submetidas a inundação, as forças de sucção foram reduzidas ou anuladas, facilitando muito o processo erosivo.

Cumpre destacar que duas interferências negativas ocorreram durante a realização dos ensaios Inderbitzen, observando-se transbordamento na peneira de abertura nominal # 400 e existência de fluxos de água intermitentes na rampa do equipamento de ensaio, o que causou alterações na vazão inicialmente empregada (120 cm^3/s). Sugestões para se vencer as dificuldades relatadas são, como se segue:

- confeccionar a rampa do aparelho em material acrílico, a fim de se garantir que a vazão seja aplicada uniformemente sobre a superfície da amostra e também que este fluxo não mude de caminho no decorrer do ensaio;
- colocar um medidor de altura de água externo ao aparelho, de modo a se avaliar o volume de água no reservatório do aparelho e a vazão;

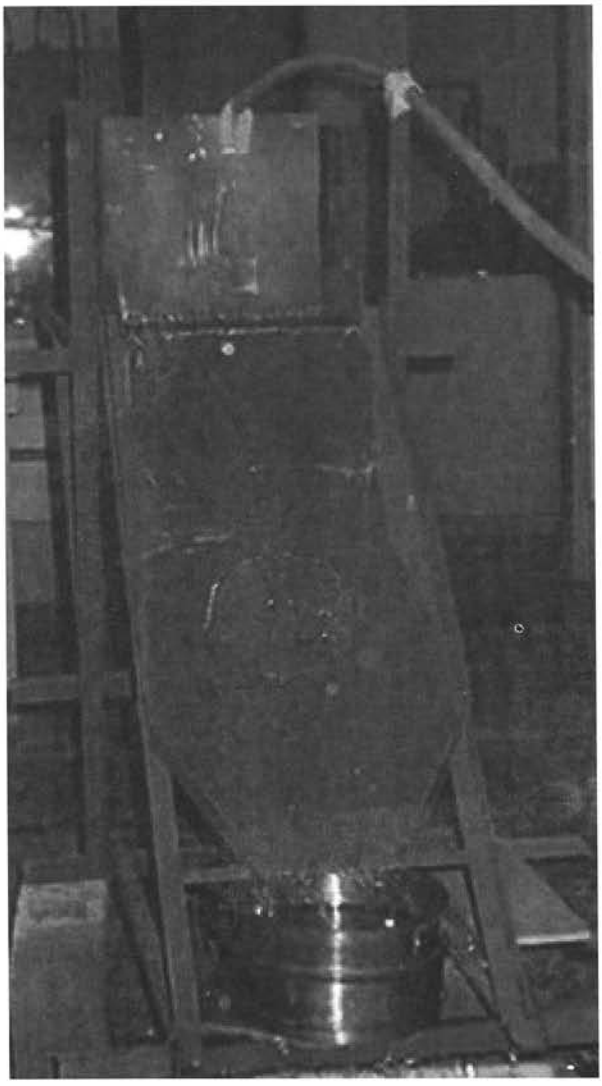

Fig. 4 - Equipamento Inderbitzen utilizado no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (LEC/UFV).

- empregar um sistema de controle de volume de água externo, de modo a evitar a ocorrência de mudanças bruscas e significativas no volume de água que entra no aparelho. Pode-se usar, por exemplo, um reservatório de captação de dimensões tais que as variações na corrente de água não sejam significativas, permitindo, assim, o repasse de água para o reservatório do aparelho com uma vazão pré-definida;
- empregar um suporte de metal que permita a colocação das peneiras para a coleta de material com maior facilidade;

- em relação à exigência de peneiras para a execução do ensaio (DNER, 1979), sugere-se a utilização apenas das peneiras de # 100, 200 e 400, para proteção e coleta de material fino, respectivamente. Desse modo o número de peneiras para serem lavadas será menor, diminuindo assim a possibilidade de perda acumulada de material. Contudo, refere-se que a adoção desta sugestão passa pela revisão, por parte do DNER, de sua metodologia de ensaio; e
- quanto ao nivelamento do aparelho, deve-se acrescentar ao mesmo um sistema de calantes que facilitem o ajuste, melhorando assim o controle que se tem sobre a vazão empregada no ensaio.

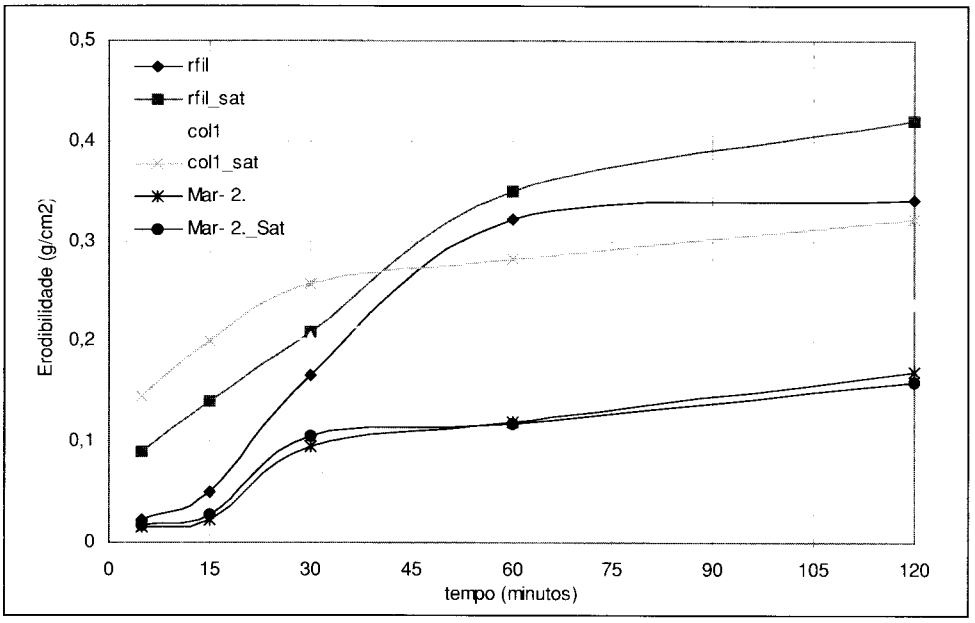

Fig. 5 - Gráfico da erodibilidade versus tempo para as amostras.

A amostra RFIL, com textura argilo-silto-arenosa, tanto natural quanto submetida à embebição em água, coletada em solo residual de filito, apresentou os maiores valores de perda de solo, em comparação com as amostras COL1, com textura areno-argilo-siltosa, e MAR2, com textura silto-areno-argilosa. Tal fato pode ser justificado por sua granulometria, pelos fatores estruturais evidenciados pela presença de microfraturas e estrutura relíctica da rocha mãe.

A amostra COL1, de erodibilidade intermediária com relação às amostras RFIL e MAR2, quando ensaiada após embebição em água, apresentou resposta mais expressiva em termos de erodibilidade, à semelhança do observado com a amostra RFIL. Foi, também, possível observar a aceleração do processo erosivo, após serem reduzidas ou vencidas forças de atração entre partículas do solo.

Destaca-se, também, a ocorrência de uma relação inversa entre resistência ao cisalhamento e erodibilidade nas amostras MAR2 e RFIL, o que vem reforçar a influência dos aspectos estruturais na resistência à erosão destes solos.

Por fim, observa-se que o ensaio Inderbitzen permitiu fazer indicações acerca da erodibilidade dos solos em questão. Ao confrontar os resultados obtidos no laboratório com as observações de campo, observa-se uma equivalência expressiva, notando-se erosões mais acentuadas nos locais onde são encontrados o colúvio e o residual de filito, como se mostra no Quadro 4. De um modo geral, as observações de campo sugerem que as erosões ocorrem principalmente sobre os solos mais arenosos, sendo mais profundas e avançadas quando atingem o horizonte de rocha alterada (horizonte C).

Quadro 4 - Comparação do resultado dos ensaios Inderbitzen com as observações em campo.

AMOSTRAS	TIPO	ERODIBILIDADE (g/cm^2) x 10^{-2}	OBSERVAÇÕES DE CAMPO
MAR 2	Natural	2,3	Amostra coletada na parede de uma ravina que mostrava-se em processo de erosão semi-estabilizado.
	Embebida em água	9,0	
COL 1	Natural	14,6	Amostra originária de um corpo de colúvio em processo erosivo ativo com formação de uma voçoroca.
	Embebida em água	16,2	
RFIL	Natural	1,5	Solo residual de filito em processo de erosão acelerado, sendo favorecido pelas estruturas relíticas da rocha mãe.
	Embebida em água	1,7	

Para fins de comparação de resultados, sugere-se que em trabalhos futuros sejam também realizados ensaios Inderbtizen empregando-se vazões mínimas e máximas para cada tipo de solo. Outro fator a ser considerado, em obediência à recomendação do DNER (1979), é a necessidade de verificação dos dados de erodibilidade obtidos. No estudo em questão, a não disponibilidade de maior volume de amostras levou a que se realizasse apenas um ensaio na vazão média calculada (120 cm^3/s) e que se adotasse este valor como uma resposta qualitativa da aptidão do solo a sofrer processos erosivos.

3.3.2. Ensaios de desagregação

Os ensaios de desagregação foram realizados segundo as Normas Técnicas NBR 13601 e 13602. Buscou-se, nesse caso, observar a existência de correlação entre os resultados desses ensaios com os de Inderbitzen, considerando-se as mesmas amostras de solos.

Holmgrem (1977), após a realização de baterias de ensaios de desagregação em amostras remoldadas, apresentou os tipos de reação à inundação da amostra, conforme se apresenta no Quadro 5.

Observou-se que os resultados dos ensaios de desagregação permitiram estabelecer correlações diretas com aqueles dos ensaios Inderbtizen, sendo que as amostras que mais se desagregaram foram as que apresentaram maior perda de solo neste ensaio. O Quadro 6 apresenta uma correspondência entre ambos os ensaios, para as amostras indeformadas analisadas.

Quadro 5 - Tipos de resposta à inundação das amostras nos ensaios de desagregação (Holmgrem, 1977).

TIPO DE RESPOSTA	DESCRIÇÃO
Sem resposta	Quando a amostra mantém sua forma e tamanho originais.
Abatimento	Quando a amostra desintegra-se, formando uma pilha de material desestruturado. Os mecanismos primários que causam a desintegração são: a hidratação e a desaeração que atuam gerando pressões positivas que desagregam o solo.
Fraturamento	Quando a amostra quebra-se em fragmentos, mantendo a forma original das faces externas. O principal mecanismo atribuído a este processo é a expansão osmótica. Quando a concentração de íons dentro da fase sólida é maior do que a da solução ambiente, a água tende a mover-se para dentro do solo a fim de reduzir esta concentração, causando então o processo de expansão e conseqüente fraturamento.
Dispersão	As paredes da amostra tornam-se difusas, com o surgimento de uma nuvem coloidal que cresce à medida que a amostra dissolve-se. Segundo o autor, o processo de dispersão ocorre quando as pressões de expansão são grandes o suficiente para causar a separação entre partículas individuais. A principal condição para a ocorrência do fenômeno é a presença de sódio no sistema. Porém, outros fatores podem influenciar a ocorrência do fenômeno, tais como: concentração de sais, pH do solo e umidade inicial.

Quadro 6 - Quadro comparativo entre os ensaios Inderbitzen e desagregação.

AMOSTRA	RESULTADO DOS ENSAIOS INDERBTIZEN	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DESAGREGAÇÃO
MAR 2	Baixa erodibilidade	Sem resposta
COL 1	Alta erodibilidade	Abatimento (desagregação total dentro de 12 h)
RFIL	Alta erodibilidade	Abatimento (desagregação total em menos de 8 h)

Portanto, observa-se que os resultados alcançados nesse programa de ensaios fornecem um bom índice qualitativo para a previsão do comportamento dos solos frente aos esforços erosivos. Destaca-se que o principal mecanismo de desagregação observado nas amostras analisadas foi o de abatimento, como se mostra nas Fig.s 6 e 7. Nesse mecanismo, o processo de saturação da amostra reduz ou anula as forças de atração interpartículas, levando à desestruturação dos solos.

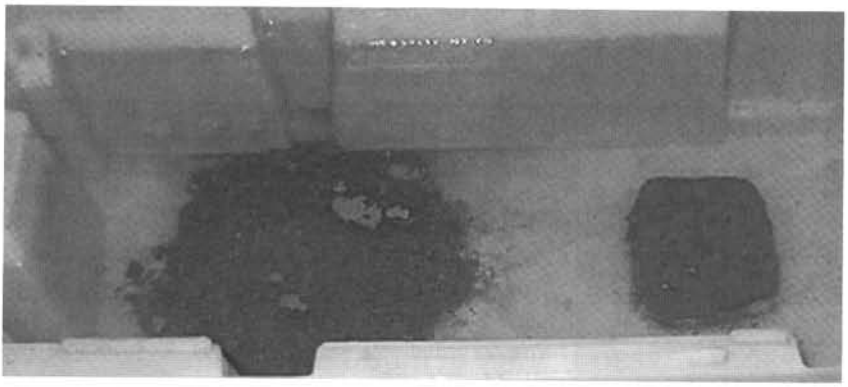

Fig. 6 - Resultado do ensaio de desagregação por imersão total por 24h. Amostras COL1 e MAR 2, da esquerda para direita.

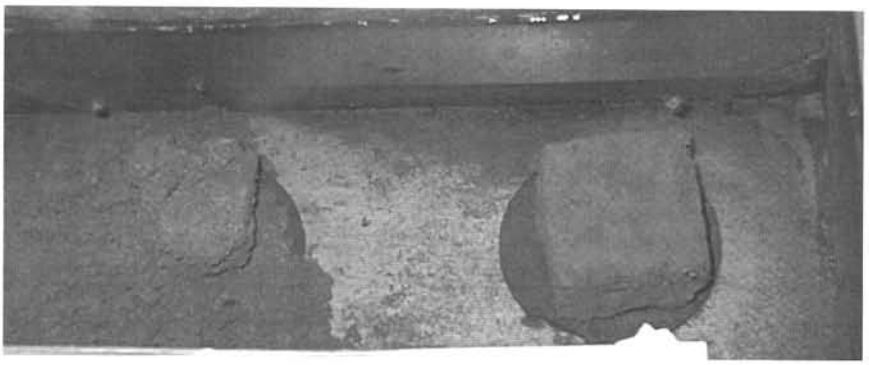

Fig. 7 - Detalhe da realização do ensaio de desagregação por imersão parcial num período de 24 h (estágio final). Amostras COL1 e MAR2, da esquerda para a direita.

4 - CONCLUSÃO

Neste estudo, procurou-se realizar a análise geotécnica de alguns solos da bacia das Codornas, com vistas a se proceder à interpretação do seu fenômeno erosivo regional. Abordou-se, inicialmente, a coleta de dados geológicos e o mapeamento das feições erosivas. Procedeu-se, posteriormente, à coleta de amostras deformadas e indeformadas, para a caracterização geotécnica da área de estudo, realizando-se ensaios de caracterização, resistência ao cisalhamento e erodibilidade. Os resultados desta pesquisa permitem concluir que:

- embora tenha-se trabalhado com apenas três amostras de solos, estas abrangeram uma gama considerável de solos, compreendendo uma argila silto-arenosa (solo RFIL), uma areia argilo-siltosa (solo COL1) e um silte areno-argiloso (solo MAR2); estas amostras podem ser considerados, em certo grau, como representativas das ocorrências de solos da Bacia das Codornas;

- as envoltórias de resistência ao cisalhamento das amostras ensaiadas após inundação apresentaram redução substancial no parâmetro coesão e, em menor escala, no parâmetro ângulo de atrito interno, em comparação com as amostras ensaiadas sem inundação;
- os ensaios específicos de erodibilidade (Inderbitzen e desagregação) destacaram-se como importantes ferramentas para auxiliar a compreensão do processo de erosão, observando boa correlação entre os resultados de ambos os ensaios; e
- observações de campo sugerem que o tipo de substrato geológico é um condicionante expressivo na evolução dos processos de voçorocamento, quando expostos os horizontes de solos saprolíticos.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam estender os seus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa, CAPES e CETEC-MG, que deram o apoio necessário à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - *NBR 6459: limite de liquidez.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ, 8p., 1984.

ABNT - *NBR 6508: massa específica dos grãos de solo.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ, 2p., 1980.

ABNT - *NBR 7180: limite de plasticidade.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ, 4p., 1994.

ABNT - *NBR 7181: análise granulométrica de solos.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ, 8p., 1982.

ABNT - *NBR 9604: abertura de poço e trincheira de inspecção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro - RJ, 1986.

Cantisano, M. A. M. *Estrutura e evolução dinâmica de uma fonte de sedimentos na sub-bacia das Codornas.* Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG, 1998.

Carvalho, E. D. *O Mecanismo das voçorocas.* In: Simpósio Situação Ambiental e Qualidade de Vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Minas Gerais, 3, 1995, Belo Horizonte, MG. Anais, UFMG, p. 117-119, 1995.

DNER *Pesquisa de estabilidade de taludes: recomendações para proteção de taludes contra erosão.* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, MT-DNER/DRDTC, Rio de Janeiro, 56p., 1979.

Faccio, J. A. *Proposição de uma metodologia de estudo de erodibilidade dos solos do Distrito Federal.* Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Brasília, Brasília - DF, 92p., 1991.

Harbaugh, J. W. and Merrian, D. F. *Computer applications in stratigraphic analysis.* New York, John Wiley & sons, Inc., 282p., 1968.

Head, K. H. *Manual of soil laboratory testing: volume 2 - permeability, shear strength and compressibility tests.* London, Pentech Press, 412p., 1982.

Holmgrem, G. G. S. *Factor affeting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by the the crumb test.* Dispersive clays, related piping and erosion geotechinal projects, ASTM Special Technical Publication, n. 623, pp. 218 – 239, 1977.

Martins Jr., P. P.; Ferreira, E. N.; Rosa, S. A. G.; César, F. M. e Gastelois, B. C. R. J. *A contribuição das geociências aos estudos de classificação das sub bacias do alto Rio das Velhas*. Série Rel. Final, Doc. NT-MDBV 03/94, 45p., 1994.

Martins Jr., P. P. e Rosa, S. A. G. *Arquitetura sistêmica da produção da informação científica para o enquadramento de cursos d'água em um contexto gerencial de bacia hidrográfica*. Belo Horizonte, CETEC-MG, Série Rel. Final, Doc. NT-MDBV 01/94, 75p., 1994.

Pinto, F. A. *Chuvas intensas no estado de Minas Gerais: análises e modelos*. Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, 87p., 1995.

Pruski, F. F. *Recursos hídricos e desenvolvimento sutentável da agricultura*. Viçosa, MG: DEA/UFV, Universidade Federal de Viçosa, 174p., 1997.

Sobreira, F. G. *Estudo geoambiental da região de Sessimbra*. Tese de doutorado apresentada à Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 148p. , 1995.