

**PROCESSOS EROSIVOS ACELERADOS EM ÁREAS DE EXTRAÇÃO DE  
AGREGADOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE JACOBINA –  
BAHIA**

**Leandro Pereira da Silva**

Geógrafo, Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal de Bahia – UFBA.

leandrogeografia12@gmail.com

**Márcio Lima Rios**

Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano – IFBaiano.

marciogeog@gmail.com

**Vagson Luiz de Carvalho Santos**

Doutor em Física pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano – IFBaiano.

vagson.santos@bonfim.ifbaiano.edu.br

**Manoel Jerônimo Moreira Cruz**

Doutor em Petrologia pela Université Pierre & Marie Curie, Paris VI. Professor Associado do Departamento de Geologia da Universidade Federal da Bahia – UFBA.

jeronimo@ufba.br

**RESUMO**

O presente estudo trata sobre a ocorrência de processos erosivos acelerados em áreas de extração de agregados da construção civil (areia e cascalho), localizados nas proximidades dos rios Canavieiras e Itapicuruzinho, afluentes do rio Itapicuru-mirim, no município de Jacobina (BA). A área estudada possui 10,8 km<sup>2</sup> e mantém o processo de extração desde a década de 70, sendo favorecida pela grande ocorrência de reservas minerais em toda planície fluvial e em encostas próximas ao leito do rio. Neste contexto, foram levantadas e estudadas as causas da grande ocorrência de feições erosivas em torno das áreas de extração, sendo feita a caracterização morfológica, granulométrica e do teor de matéria orgânica em dois perfis de solo. Foram realizadas medições em uma voçoroca localizada na área de estudo, sendo traçado um perfil tridimensional para ser calculado o volume de sedimentos que saiu da mesma. Além disso, foi realizado o mapeamento da rota dos sedimentos erodidos com auxílio de GPS e Imagens de Satélite. A partir dos resultados das análises no perfil do solo foi possível verificar a alta vulnerabilidade dos solos aos agentes erosivos, comprovados pelo baixo conteúdo de matéria orgânica, pela textura com altas concentrações de areia, silte e baixas de argila, e também pela natureza da estrutura apresentada pelos agregados. Foi verificado ainda, através do monitoramento da rota de sedimentos erodidos, que estes têm como destino a lagoa Antônio Teixeira Sobrinho, os rios Canavieiras e Itapicuruzinho, potencializando o assoreamento dos mesmos.

**Palavras-chave:** Erosão de Solos; Voçorocas; Agregados da Construção Civil.

**THE ACCELERATED EROSION PROCESSES IN AREAS OF  
AGGREGATES EXTRACTION OF CIVIL CONSTRUCTION IN THE  
TOWN OF JACOBINA - BAHIA**

**ABSTRACT**

This paper presents a study based on the occurrence of accelerated erosion in extraction areas of aggregates of the building (sand and gravel), it is located near the Canavieiras and Itapicuruzinho rivers, affluents of Itapicuru-Mirim river, in the town Jacobina (BA). The studied area has 10.8 km<sup>2</sup> and maintains the extraction process since the 70s, being favored by the occurrence of large mineral reserves across fluvial plain, and near the riverbed slopes. In this context, were raised and studied the causes of the high occurrence of erosional features (gullies and ravines), around areas of extraction, being taken the morphological, physical and chemical research of two soil profiles. Were realized also performed on the main gully located in the study area, being planned a three-dimensional profile for calculate the volume of sediments that came out of the same. Furthermore, it was performed the mapping of the route of eroded sediments with the aid of a GPS and Satellite Images. From the results of the chemical, physical analyses, and morphological characterization, was observed the high vulnerability of soils to erosive agents, proven by the low organic matter content, the texture with high concentrations of sand and silt, and low concentration of clay and also by the nature of the structure presented by the aggregates. It was also verified by monitoring the route of eroded sediments that goes to the Antonio Teixeira Sobrinho lagoon, and the Canavieiras and Itapicuruzinho rivers, enhancing the silting up of the same.

**Keywords:** Soil Erosion; Gullies; Construction Aggregates.

**PROCESOS EROSIVOS ACELERADOS EN LAS ZONAS DE  
EXTRACCION DE LOS AGREGADOS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL EN  
LA CIUDAD DE JACOBINA – BAHIA**

**RESUMEN**

Este presente trabajo se refiere a la aparición de la aceleración de la erosión en las zonas de extracción de agregados de construcción (arena y grava), situada cerca de los ríos Canavieiras y Itapicuruzinho, afluentes del río Itapicuru-Mirim en la ciudad de Jacobina (BA). El área de estudio tiene 10,8 km<sup>2</sup> y está en el proceso de extracción desde los años 70, siendo favorecido por la alta incidencia de las reservas minerales de toda llanura fluvial y laderas cercanas al lecho del río. En este contexto, el presente trabajo de investigación se desarrolló sobre las causas de la alta incidencia de rasgos erosivos (voçorocas y ravinias o barrancos), alrededor de las zonas mineras, e hizo la caracterización morfológica, física y química de los dos perfiles de suelo. Las mediciones se realizaron en la “voçorocas” principal, ubicada en el área de estudio, a través de un perfil tridimensional para calcular el volumen de sedimentos que salió de ella. Además, la asignación se realizó en la ruta de los sedimentos erosionados utilizando GPS y las imágenes de satélite. De los resultados de la caracterización química, física y morfológica se observó la alta vulnerabilidad de los suelos a los agentes erosivos, demostrado por el bajo contenido de materia orgánica, la textura con altas concentraciones de arena, silte y arcilla de baja, también la naturaleza de la estructura presentada. Se encontró también mediante el control de la ruta de los sedimentos erosionados, sus desplazamientos, se están moviendo a la laguna Antonio Sobrinho Teixeira, los ríos Canavieiras y Itapicuruzinho, causando el aterramiento de los mismos.

**Palabras clave:** La Erosión del Suelo; Las Voçorocas; Los Agregados de Construcción.

## INTRODUÇÃO

O solo, considerado como parte superficial da crosta terrestre, que em geral provém da decomposição das rochas, merece ser estudado pela sua importância no meio circundante. Através da ação antrópica, os solos vêm sendo agredidos, acarretando uma série de problemas ao meio físico, dentre os quais merece destaque especial a erosão de solos, que vem se tornando um dos maiores fatores de perdas de terras agricultáveis do país (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). Nesse sentido, Pruski (2009) defende que a erosão de solos, em razão da rapidez que ela se processa, acarreta grandes prejuízos, tanto para as atividades de exploração agropecuária, como para outras atividades econômicas, além de causar sérios danos ao meio ambiente.

Lepsch (1993) afirma que a erosão pode ser tecnicamente definida como a remoção seletiva das partículas do solo das partes mais altas, para as mais baixas ou para o fundo dos lagos, rios e oceanos. A chuva quando cai no terreno, pode evaporar, infiltrar ou escoar sobre solo. O escoamento superficial deve ser controlado, de modo a reduzir as enxurradas, um dos agentes responsáveis pelos processos erosivos que ocorrem nas encostas. É evidente que nem todas as chuvas causam os mesmos danos, e seus efeitos variam segundo a intensidade. Pruski (2009) salienta que os totais anuais precipitados têm pouca relevância na ocorrência da erosão hídrica, sendo mais importante a consideração da distribuição do tamanho, a velocidade na queda, o número, momento, e principalmente a energia cinética das gotas, não deixando também de considerar a intensidade, frequência e duração das chuvas.

A cobertura vegetal é uma das principais defesas naturais de um terreno contra a erosão, pois protege contra o impacto direto das gotas de chuvas, além de favorecer o aumento nas taxas de infiltração, provocada pelo aumento da porosidade do solo por ação das raízes. A vegetação favorece também a capacidade de retenção de água pela estruturação do solo, através da incorporação da matéria orgânica (MO) na formação dos agregados estruturais (KAMPF & CURI, 2012).

Outro aspecto que influencia na intensidade da erosão de solos é a topografia do terreno, verificada principalmente pela declividade e comprimento de rampa (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999). Sobre o efeito das características topográficas na intensificação dos processos erosivos, Kampf & Curi (2012) salientam que, em vertentes mais convexas, o escoamento superficial de água é máximo, resultando em superfícies com alta erodibilidade e relativamente instáveis.

Embora a erosão de solos seja um fenômeno natural, a ação antropogênica tem uma grande contribuição na aceleração desses processos, uma delas é o uso inadequado do solo, tanto na atividade agrícola, visando à produção econômica de alimentos e matérias-primas para indústrias, como em outras atividades de exploração dos recursos naturais (BERTOLINI & LOMBARDI NETO, 1994).

Nesse sentido, o processo de extração de agregados da construção civil (areia e cascalho), que ocorre no município de Jacobina desde a década de 1970, localizado principalmente em encostas e na planície fluvial, dos rios Canavieira e Itapicuruzinho, vem sendo responsável pela ocorrência de uma série de danos ambientais, principalmente aos solos, através da aceleração da ação dos agentes erosivos.

O presente estudo realizou um levantamento das causas da alta ocorrência de feições erosivas em estágios acelerados, em áreas de extração de areia e cascalho no município de Jacobina (BA). Para isso, foi feita uma análise de alguns dos solos encontrados na área, através da interpretação das características morfológica, texturais e do teor de matéria orgânica. Além disso, foram realizadas medições e registros fotográficos em uma voçoroca encontrada na área, seguida da estimativa de perda de solo nessa feição erosiva. A partir desse levantamento, foi possível diagnosticar as condições que aceleram a erosão e também os efeitos da mesma, principalmente através do assoreamento em alguns corpos hídricos locais.

Tendo em vista a importância econômica da extração de agregados para os moradores locais, que se constitui na atividade básica para sobrevivência, e diante da gama de impactos provocados ao longo dos anos, este trabalho se constitui numa ferramenta básica na tentativa de uma proposição do uso racional e sustentável dos recursos minerais (areia e cascalho para construção civil). Buscando orientar sobre os riscos da atividade e propor medidas de revitalização e conservação, que poderão ser colocadas à disposição dos órgãos públicos responsáveis pela gestão ambiental e da comunidade local.

## **CARACTERIZAÇÃO/LOCALIZAÇÃO DA ÁREA**

A área de estudo está situada no norte da região da Chapada Diamantina, porção Norte do Estado da Bahia. Inserida no município de Jacobina, que possui uma área de 2.320 km<sup>2</sup> e uma população total estimada em 79.013 habitantes (IBGE, 2010).

A área onde a extração mineral de agregados da construção civil se desenvolve, em depósitos coluviais, está nas encostas próximas à rodovia de acesso à Jacobina Mineração e



Comércio - JMC mineral, e nos leitos dos Rios Canavieiras e Itapicuruzinho, em áreas da planície aluvial (COUTO *et al.*, 1978). A área de estudo possui 10,8 Km<sup>2</sup> (Figura 01), e está situada entre as coordenadas UTM, extraídas de quatro pontos demarcados nas extremidades do retângulo de delimitação: 1- 330000E, 8761700N; 2- 333000E, 8761700N; 3- 330000E, 8758000N; 4- 333000E, 8758000N, Zona 24L.

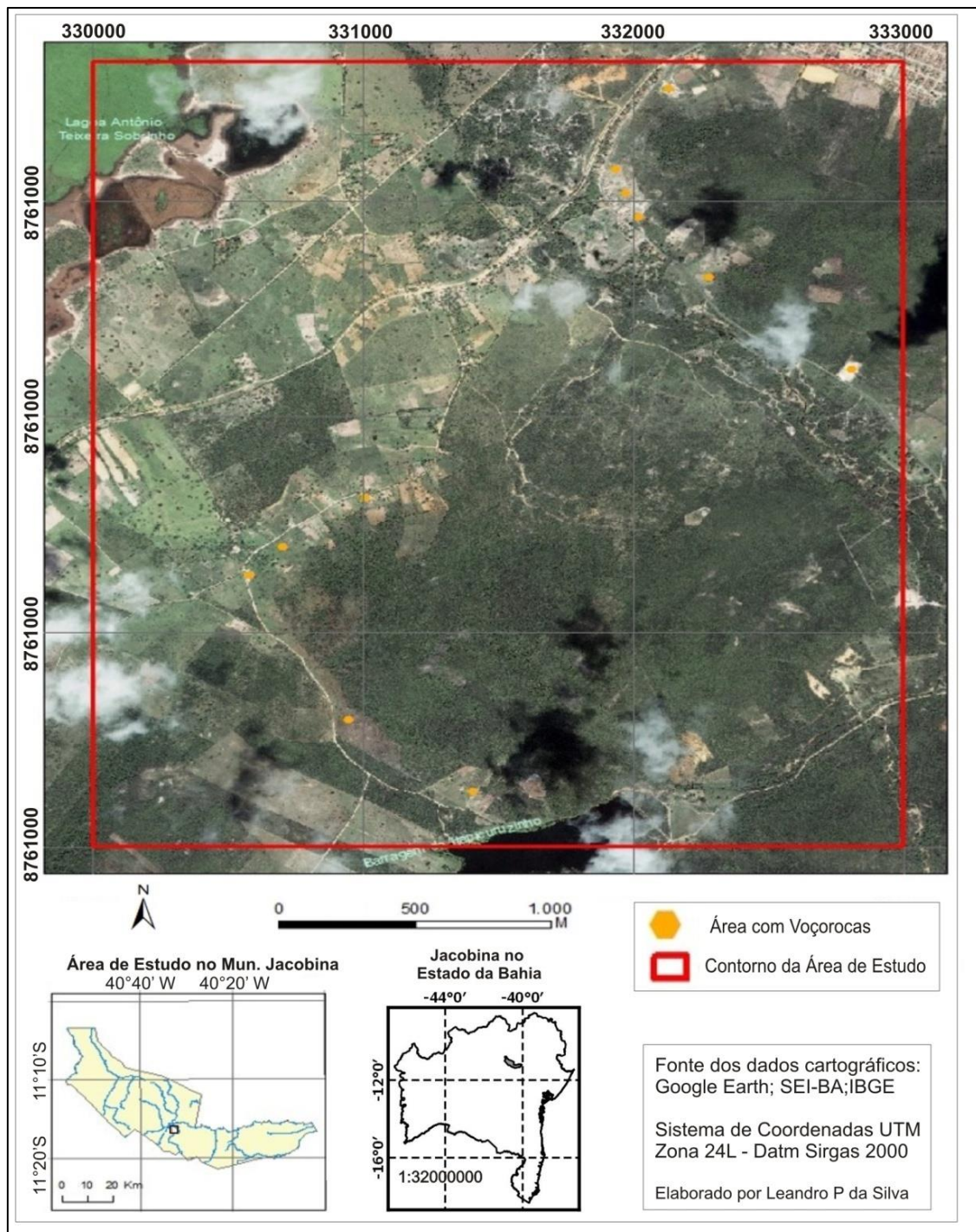


Figura 01 – Mapa de Localização da Área de Estudo.

Fonte: Google Earth/SEI/ANA.

Em relação à geologia da área, as unidades de mapeamento encontradas, conforme COUTO *et al.*, 1978, correspondem ao Complexo Metamórfico Migmatítico Pré-cambriano e a Sedimentos Aluvionares Quaternários. Na área de estudo, Complexo Metamórfico Migmatítico se subdivide em duas sub-unidades: metatexitos, e diatexitos. Os depósitos aluvionares encontrados na área são associados à planície de inundação do rio Itapicuru-mirim.

Os Metatexitos compreendem a rochas geralmente acinzentadas e localmente rosadas, com granulação de fina a média, sendo associados a estruturas estromáticas e dobradas. Mineralogicamente, são constituídos por quartzo, ortoclásio, microclina, oligoclásio, ocorrendo também à presença de micas, como, a biotita e moscovita, sendo a primeira predominante. Esta rocha tem como minerais acessórios, a zirconita, alanita, rutilo e minerais de óxido de ferro. Os Diatexitos, petrograficamente possuem composição granítica, tendo como minerais essenciais o quartzo (33,3%), Plagioclásio (30%) Microclina (18,8%), seguidos também em menores concentrações, por biotita e moscovita, tendo como minerais acessórios a apatita, clorita, epidoto e magnetita (COUTO *et al.*, 1978).

Os Aluviões são formados por sedimentos aluvionares quaternários encontrados na área, sendo compostos principalmente por areias de diferentes texturas, cascalhos e também contendo geralmente argilas silicosas em pouca quantidade (COUTO *et al.*, 1978).

Apesar de estar situada em uma região semiárida, Jacobina apresenta índices pluviométricos mais altos, influenciados pela topografia local, que proporciona a ocorrência em maior intensidade de chuvas orográficas, contribuindo para que o clima local caracterize-se como sub-úmido com precipitações atingindo mais de 800 mm anuais, geralmente com duas estações chuvosas. Entre os meses de novembro e maio concentram-se os maiores índices pluviométricos, caracterizando o período de “trovoadas”. Os meses mais secos são setembro e outubro (PINHEIRO, 2004). As chuvas ocorrem com maior frequência no verão, devido à ação da massa de ar equatorial continental, entre o período de novembro e maio, sendo que neste, em maior intensidade (SEI, 2003).

A área de estudo localiza-se na bacia do alto Itapicuru, às margens dos rios Canavieiras e Itapicuruzinho. De acordo com os estudos de Pinheiro (2004), os rios Canavieiras e Itapicuruzinho, são tributário do Itapicuru-Mirim que é um rio intermitente, cujas nascentes situam-se nos contrafortes da Serra Jacobina, no município de Miguel Calmon, onde hoje se localiza o Parque Estadual das Sete Passagens.

As vertentes possuem alta declividade, atingindo até 45 graus, sendo os valores mais altos relacionados às áreas de ocorrência de rochas quartzíticas, que são recobertas, na

proximidade dos rios Canavieiras e Itapicuru-Mirim, por aluviões antigos de rio, que formam uma planície com cerca de 2.000 metros de largura. Nos depósitos aluviais, os sedimentos são arenosos, com lentes mais finas de silte e argila, cascalhos, variando no meio do conjunto, mas geralmente na base (PINHEIRO, 2004). Nas encostas se formam depósitos coluvionares, provocados pela erosão do material adjacente, que se acumula no sopé da mesma e formam depósitos de tálus. Atualmente a planície está sendo dissecada pela ação fluvial, provocando desbarrancamentos do material aluvionar a cada estação de cheia.

Na área de estudo, a vegetação encontrada é a Caatinga hiperxerófila arbustiva – arbórea (BRASIL, 1983), contendo um substrato de gramíneas com árvores de pequeno e médio porte na encosta, transacionando para vegetação secundária, gramínea a arbustiva e/ou arbórea, representando possivelmente estágios iniciais de regeneração das matas ciliares, antigamente presentes na planície Aluvial. Esse tipo de formação vegetal é classificado como Caatinga de Aluviões, que é um tipo de substrato vegetal característicos nos vales e planícies de inundações existentes nos rios, situados no bioma Caatinga (BAHIA, 1995).

A exploração mineral de agregados da construção civil (areia e cascalho), na área de estudo, desenvolve-se desde a década de 1970 (PINHEIRO, 2004) e sua intensificação está diretamente ligada à reabertura da Mineração Morro Velha, em 1978, na qual por dois motivos fizeram com que a atividade se intensificasse. Um foi que, com a reabertura da mina, a cidade de Jacobina passou por um intenso crescimento urbano nesse período e isso aumentou significativamente a demanda de matéria-prima para suprir a construção civil (PINHEIRO, 2004). O outro motivo foi à descoberta de ouro de aluvião, na planície do rio, fato que fez com que a extração aurífera se devolvesse com grande intensidade por toda a planície, principalmente sob a forma de garimpos artesanais e clandestinos. Arelada a essa atividade, a extração de areia e cascalho se desenvolvia como uma segunda fonte de renda para a população. Sendo assim, a atividade de extração de agregados se desenvolve principalmente na planície aluvial, e em áreas de encosta, situadas às margens da rodovia que dá acesso à sede da mineradora de ouro no município de Jacobina. Esta área se configurou na principal zona de exploração de agregados da construção civil no município de Jacobina, além de uma importante fonte de renda para a população das comunidades situadas no local.

## MATERIAIS E METÓDOS

Os procedimentos utilizados para este trabalho foram: pesquisa bibliográfica, procedimentos experimentais e de campo. Para o desenvolvimento foram utilizadas algumas técnicas de coleta de dados, citadas a seguir em ordem de aplicação.

### **Análise granulométrica, teor de matéria orgânica e descrição morfológica de solo**

Foram realizadas descrições morfológicas e coletas de amostras de solo em dois perfis, para realização de análises granulométricas e do teor de matéria orgânica, buscando entender algumas das características dos solos encontrados na área, e sua relação com a ocorrência dos processos erosivos em estágio avançado. A descrição dos solos e a coleta das amostras analisadas obedeceram à normatização do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS *et al.*, 2005). O primeiro perfil localiza-se no terço médio de uma encosta, no interior da voçoroca selecionada para integrar parte dos estudos nesse trabalho, coordenada UTM Zona 24L 338818E, 8762178N. O segundo perfil localizado no terço inferior da encosta com coordenadas UTM zona 24L 330533E, 8759286N. Foram feitas as análises granulométricas e do teor de matéria orgânica de acordo com os métodos estabelecidos no Manual de Métodos de Análises do Solo (EMBRAPA, 1997), sendo realizadas na Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A. – EBDA.

### **Análises dimensionais de uma voçoroca e o traçado da rota dos sedimentos**

Foi realizada a medição de uma voçoroca, localizada às margens de uma estrada de chão (acesso a uma das áreas de extração de areia), na coordenada UTM Zona 24L 338818E 8762178N. Foram realizadas medições (com corda e fita métrica) do comprimento, largura e profundidade, distribuídas em 41 pontos no interior da voçoroca, estabelecendo o intervalo de 2,5m entre os pontos. As medidas foram utilizadas no cálculo do volume de sedimentos retirados da voçoroca.

Utilizando o software *Mathemática*, foram plotados os valores de largura e altura da voçoroca. Foi realizada uma aproximação simétrica nos valores da largura, isto é, se a largura for de 2,00 m, o gráfico tem uma variação no eixo x de -1 até 1, no intuito de obter os dois metros de largura (Figura 02-A). Devido a essa aproximação, a voçoroca simulada possui uma simetria bilateral, ou seja, se partirmos a figura ao meio, ao longo do eixo x, os dois lados parecem ser idênticos. Essa aproximação não mostra o perfil real da voçoroca, mas dá uma visão sobre as flutuações na largura da mesma. Com relação à altura (Figura



02-B), pode-se notar que, para cada ponto, a altura é constante, o que também não retrata a realidade, uma vez que deve haver flutuações da profundidade ao longo da largura registrada na voçoroca. No entanto, mais uma vez, essa aproximação permite uma visão na variação da altura (Ver Figura 02).

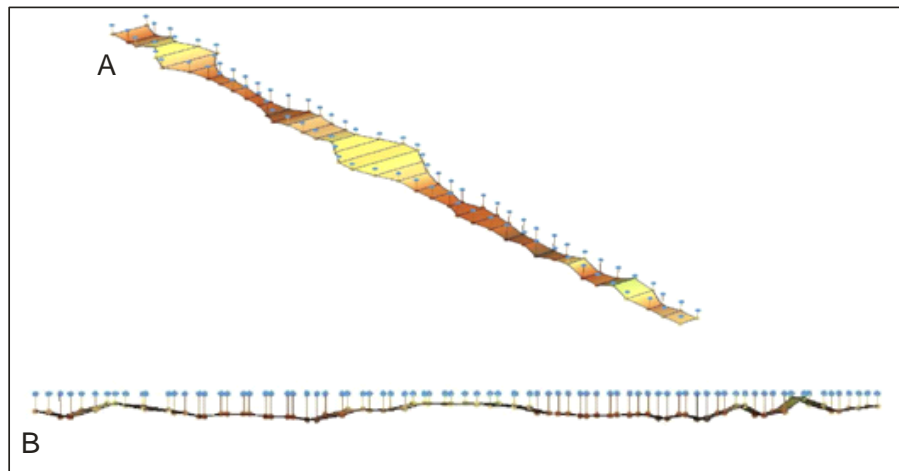


Figura 02 – Perfil de altura da voçoroca. Pontos azuis indicam altura zero.

Para determinar o volume total de sedimentos carregados ao longo da voçoroca, foi utilizado o seguinte procedimento: Cada intervalo de 2,5 m, com os quais as medidas foram feitas, são considerados, na aproximação simétrica, gerando uma sequência com uso de sólidos trapezoidais (Figura 03-A). O volume total de sedimentos é calculado sobre a soma dos volumes dos sólidos trapezoidais de cada segmento da representação tridimensional da voçoroca estudada (Figura 03-B).

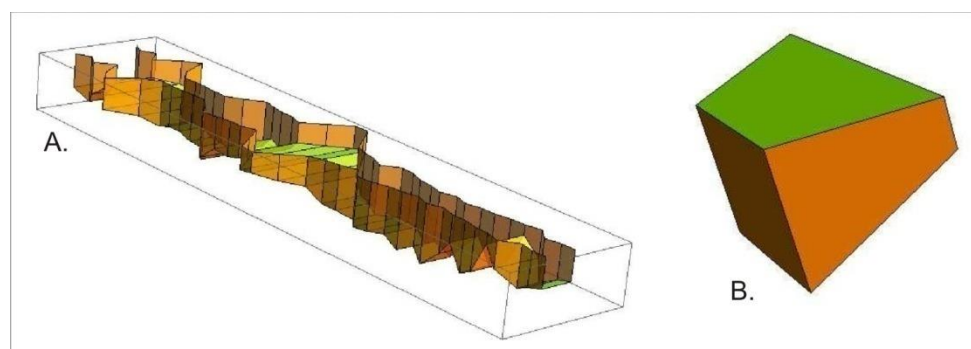


Figura 03 – A- Representação tridimensional da aproximação simétrica para o perfil da voçoroca. B- Sólido trapezoidal utilizado nas aproximações.

Os sólidos geométricos apresentados na figura 03-B contém dois retângulos de áreas diferentes nas suas faces opostas, unidos por dois trapézios isósceles também de áreas diferentes.

O volume desse sólido é calculado a partir da seguinte relação:

$$V = \frac{h}{3} \left( A_B + \sqrt{A_B A_b} + A_b \right),$$

equação (01)

Onde AB é a área do retângulo maior e, Ab, a área do retângulo menor; h é a distância que separa os dois retângulos, em nosso caso, 2,5 m. Calculando, então, o volume de cada sólido trapezoidal e somando todos eles, foi encontrado o volume total de sedimentos retirados da voçoroca.

Por fim, foi feito também um mapeamento da rota dos sedimentos erodidos através do uso de GPS de navegação (atividade de campo) e imagens de satélite (Imagens Google Earth), com o objetivo de identificar os locais de destino dos mesmos.

### **Estudo da evolução da evolução de uma voçoroca em campo**

A partir de observações em campo, registro fotográfico e tendo suporte na base teórica referente ao processo de gênese de feições erosivas (GUERRA *et al.*, 1999; BERTONE & LOMBARDI NETO, 1999), foi feito um acompanhamento do processo evolutivo da mesma voçoroca apresentada acima, antes e depois de eventos chuvosos. Também foi realizada a classificação do tamanho da voçoroca de acordo com (EMBRAPA, 2008).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Características texturais e morfológicas dos solos e a alta vulnerabilidade à erosão**

Os perfis de solo analisados estão situados nas proximidades de uma das áreas de extração de areia e cascalho para construção civil e com visíveis feições de processos erosivos. O perfil 1 (Figura 04), localizado no terço médio de uma encosta, constitui uma parede no interior de uma voçoroca, já o perfil 2 (Figura 04) está localizado na parte inferior da encosta. A partir da interpretação dos resultados das análises granulométricas, do teor de matéria orgânica e da caracterização morfológica, foi possível chegar a algumas constatações importantes.

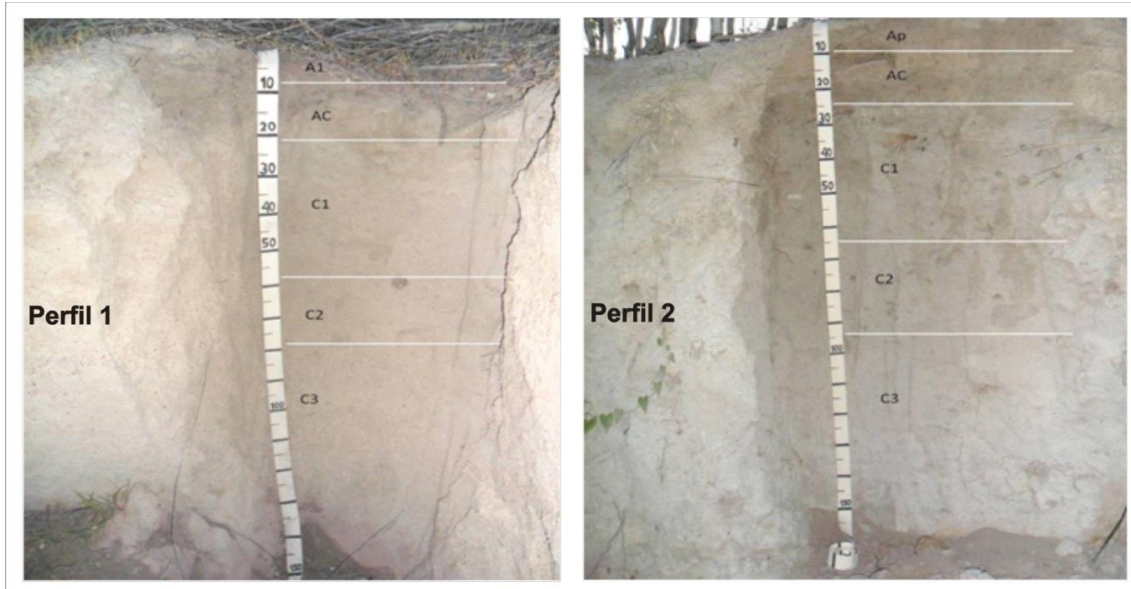


Figura 04 – Perfis de solo utilizado para coleta de amostras e descrição morfológica.

Conforme a Tabela 01, após compreensão dos resultados da granulometria, foi encontrada a presença de uma textura composta por grandes concentrações de areia, com valores chegando a 81,9 dag/kg no horizonte A do perfil 01 e 84,9 dag/kg na camada C1. Assim como os valores texturais da areia, o silte apresentou valores semelhantes nos dois perfis, com pouca variação entre os horizontes e camadas dos dois perfis, tendo valores chegando a 17,8 dag/kg na camada C3 do perfil 01, e a 26,3 dag/kg no horizonte Ap perfil 02. Já o conteúdo de argila se apresenta muito baixo em todas as amostras analisadas, registrando valores sempre inferiores a 7 dag/kg. Os valores de areia, silte e argila, nos dois perfis, determinam uma textura do tipo Areia Franca, gerando uma condição bastante susceptível à erosão, com baixíssima agregação e reduzida retenção de água.

Tabela 01 – Características Texturais e Teor de Matéria Orgânica dos Perfis de Solo 01 e 02.

Id.	Horizonte	Prof. cm	Composição Granulométrica – TFSA			Textura	Mat. Org.	C Org.
			Areia	Silte	Argila			
			-----dag/kg-----			-----dag/kg-----		
P-01	A1	0 - 7	81,9	15,0	3,1	Areia franca	1,70	0,99
	AC	7 - 21	81,2	12,9	5,9	Areia franca	0,55	0,32
	C1	21 - 59	81,0	13,2	5,8	Areia franca	0,26	0,15
	C2	59 - 79	80,4	14,2	5,4	Areia franca	0,18	0,10
	C3	79 - 159	78,0	17,8	4,2	Areia franca	0,03	0,02
+								
P-02	Ap	0 - 9	72,3	26,3	1,4	Areia franca	0,66	0,38
	AC	9 - 24	84,4	11,2	4,4	Areia franca	0,53	0,31
	C1	24 - 65	84,9	8,1	7,0	Areia franca	0,35	0,20
	C2	65 - 95	79,2	13,8	7,0	Areia franca	0,20	0,11
	C3	95 - 143 +	78,5	20,9	0,6	Areia franca	0,05	0,03

Fonte: Análise química e granulométrica EBDA, 2012.

Ainda de acordo com a Tabela 01, os valores baixos do conteúdo de MO (matéria orgânica) no solo, que no perfil 01 variam de 1,70 dag/kg no horizonte A e atingem 0,03 dag/kg no horizonte C, e no perfil 02 variam de 0,66 dag/kg no horizonte A e chegam a 0,01 dag/kg no horizonte C, contribuem para a baixa estabilidade dos agregados, tendo em vista a natureza coloidal da MO, a qual atua como agente cimentante das partículas do solo. Nesse sentido, Guerra *et al.* (1999) afirmam que a capacidade de infiltração aumenta com teores mais elevados de matéria orgânica, contribuindo para o aumento da taxa de infiltração e da resistência dos agregados à dispersão.

Na descrição morfológica dos perfis solo pôde-se destacar a estrutura, que se apresenta de forma geral com blocos subangulares que variam de tamanho médio a grande, tendo um grau de desenvolvimento de fraco a moderado. O baixo grau de desenvolvimento corrobora com a textura arenosa e o baixo teor de matéria orgânica, dificultando, dessa forma, a formação de agregados.

Quanto à consistência do solo, em ambos os casos, possuem tenacidade variando entre macia e ligeiramente dura, friabilidade variando entre muito friável e friável, condições estas que apontam para a baixa consistência dos agregados, contribuindo para uma desagregação rápida das unidades estruturais, que, a partir da individualização das partículas, favorece a aceleração do transporte.

Sendo assim, estas características morfológicas nas condições supracitadas, conforme Guerra *et al.* (1999), tendem a provocar, com uma chuva forte de curta duração, um rápido rompimento dos agregados e a individualização das partículas, dando início aos processos erosivos de forma mais rápida.

A erosão de solos é um dos principais problemas ambientais diagnosticados na área de estudo, principalmente nas encostas onde houve extração de areia e foram abandonadas, ou até mesmo nos locais onde a extração ainda é ativa. Uma vez encerradas as atividades de extração mineral, essas encostas ficam sujeitas à ação dos agentes erosivos e, por conta das características dos solos locais (textura rica em areia e silte, baixo teor de matéria orgânica, consistência macia e friável e baixa agregação), a vulnerabilidade à erosão é certamente ampliada. Conforme estudos desenvolvidos por Guerra (1999), essas maiores concentrações de silte e areia, geralmente, contribuem para a formação de estruturas menos estáveis e, portanto, com menor agregação, sendo mais fáceis de serem rompidas, aumentando a erodibilidade dos solos. Neste caso, a atuação dos agentes erosivos tende a atuar de forma mais acelerada, fato que foi verificado em várias áreas com um grande



número de ravinas e voçorocas, em estágio de desenvolvimento bastante avançado, conforme pode ser observado na Figura 05.

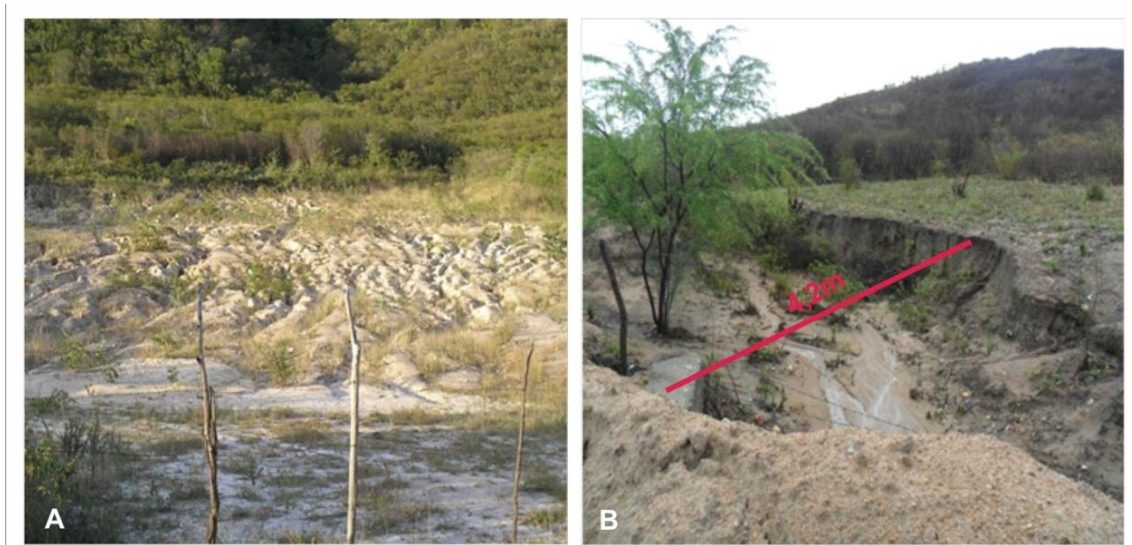


Figura 05 – A: Grande número de sucros e ravinas em antiga área de extração de areia. B: Voçoroca em estágio avançado, encosta próxima a área de extração Foto: Leandro Pereira, 2012.

Vale ressaltar que o processo de extração de agregados da construção civil (areia e cascalho) intensifica a atuação dos processos erosivos, na medida em que há desmatamento de grandes áreas, além da retirada dos horizontes superficiais, deixando os solos expostos e mais susceptíveis à ação dos agentes erosivos. Vale lembrar que a passagem de máquinas e caçambas sobre a área ajuda na compactação dos solos, favorecendo também o aumento do escoamento superficial e contribui para o aumento das taxas de erosão.

### **Breve discussão sobre a evolução, dimensões e a contribuição no volume de solo erodido por uma voçoroca**

Durante algumas visitas a campo, após eventos chuvosos, foi possível acompanhar a evolução de uma voçoroca na área de estudo.

De acordo com Salomão (1999), as voçorocas são palco de vários fenômenos, como a erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, configurando-se na forma mais destrutiva de todo o processo erosivo. Assim, foi verificado, na voçoroca, o solapamento das bases laterais com a queda de grandes blocos e a quebra em agregados menores. Em novos eventos chuvosos, estes blocos são desagregados e transportados por pequenos canais, que se desenvolvem no interior da voçoroca, conforme pode ser verificado na Figura 06, contribuindo para o

aprofundamento e conseqüentemente o aumento do tamanho da voçoroca, provocando maiores perdas de sedimentos.

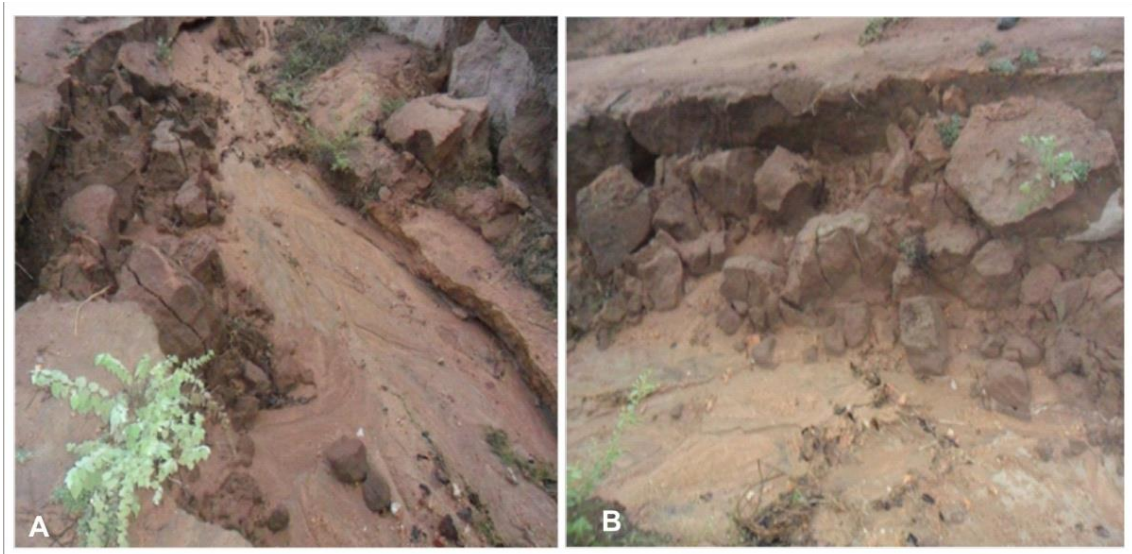


Figura 06 – A: Solapamento das bases laterais e formação de microcanais no interior da Voçoroca e após chuva. B: Desmoronamento de Blocos e entupimento do interior da voçoroca. Foto: Leandro Pereira, 2012.

No processo de gênese dessa voçoroca foi observada uma possível influência do escoamento subsuperficial. A esse respeito, Guerra (1998) chama atenção sobre o papel do escoamento subsuperficial na intensificação dos processos erosivos, ao afirmar que: “o escoamento subsuperficial quando corre em fluxos concentrados, em túneis ou dutos, possui efeitos erosivos, que são bem conhecidos, provocando o colapso da superfície situada acima, resultando na formação de voçorocas” (GUERRA, 1998, p. 171). Para tanto, são visíveis, em vários trechos da voçoroca estudada, um desgaste e aprofundamento do seu interior e das bases laterais, por efeito do fluxo de água em subsuperfície, conforme pode ser observado na Figura 07.



Figura 07 – A: Processo evolutivo de voçoroca a partir do escoamento subsuperficial. B: Microcanais formados no interior da voçoroca por efeito do escoamento subsuperficial. Foto: Leandro Pereira, 2012.

Através de medições na voçoroca pôde-se chegar às dimensões da incisão no solo produzido pela retirada do volume de sedimentos em consequência do processo erosivo instalado. Conclui-se que a voçoroca possui um comprimento de 102,5 m, com uma largura média de 1,71m e profundidade média de 1,15m, sendo possível classificá-la como pequena (Figura 8), conforme classificação estabelecida pelo Manual do Curso de Recuperação de Áreas Degradadas (EMBRAPA, 2008). São classificadas como pequenas, as voçorocas que possuem profundidade e largura inferiores a 2,5m e, médias, as voçorocas que possuem de 2,5 a 4,5m de largura e profundidade.



Figura 08 – A: Voçoroca vista de cima para baixo, em período de estiagem. B: Voçoroca vista de baixo para cima, logo após evento chuvoso. Foto: Leandro Pereira, 2012.

Também como resultado das medições e utilizando a equação (01) descrita na metodologia desse trabalho, pôde-se calcular o volume de sedimentos retirados pelo



processo erosivo. A partir da soma do volume dos 41 sólidos trapezoidais, os quais representam os 102,5 metros de comprimento total da voçoroca, foi possível obter o volume de 179,46m<sup>3</sup> de sedimentos retirados da encosta por essa feição erosiva. Assim, estima-se que o volume de solo retirado por metro linear (no interior da voçoroca) é de aproximadamente 1.751 litros/m.

Ao saber que a área possui diversas voçorocas, muita das quais são maiores e mais profundas que a feição erosiva analisada, constrói-se um cenário capaz de apontar o grande dano ambiental, passado e presente, provocado pelo desencadeamento e intensificação do voçorocamento nas encostas e o conseqüente entulhamento dos canais associados.

### **Deposição de sedimentos erodidos e assoreamentos de corpos hídricos**

A aceleração dos processos erosivos, ocasionados pelo processo de extração de agregados da construção civil, em encostas localizadas na área de estudo, contribui para a ampliação do assoreamento de corpos hídricos. Segundo Infanti & Fornasari (1998), o assoreamento é um processo que consiste na acumulação de partículas sólidas (sedimento) em meio aquoso, ocorrendo quando a força do agente transportador natural é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a supersaturação das águas permite a deposição. A ação desses processos erosivos vem contribuindo para o assoreamento de alguns corpos hídricos situados na área de estudo, tais como: a lagoa Antônio Teixeira Sobrinho, rios Canavieiras e Itapicuruzinho, além da própria Barragem de abastecimento da EMBASA (Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A) situada neste rio.

A partir do uso de imagens de satélites disponibilizadas no Google Earth pode-se apontar que parte dos sedimentos erodidos nas áreas de extração, geralmente, acaba tendo como destino localidades onde se encontram importantes mananciais hídricos para o município de Jacobina. Puderam-se visualizar vários canais de drenagem (Figura 09-A), que fluem de encostas situadas nas zonas mais íngremes do relevo, para a lagoa, rios Canavieiras, Itapicuruzinho e também para a barragem de abastecimento. Acrescenta-se a isso, a presença de vários bancos de areia (pontos assoreados), que podem ser visualizados na Figura 09-B, correspondente à Lagoa Antônio Teixeira Sobrinho, um importante corpo hídrico e ecossistema local.



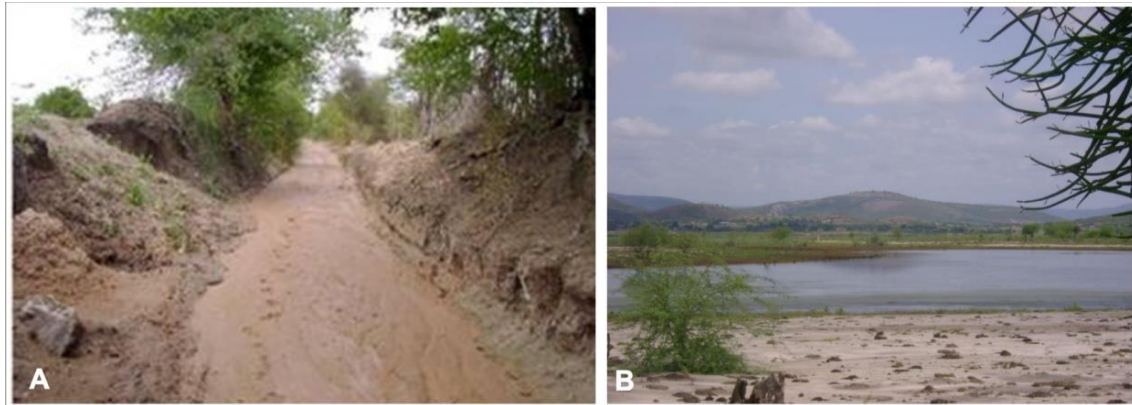


Figura 09 – A: Canal de transporte de sedimentos para a Lagoa Antônio Teixeira Sobrinho. B: Ponto de grande acumulação de areia na Lagoa Antônio Teixeira Sobrinho. Foto: Leandro Pereira da Silva.

Um importante e fundamental fator que contribui para a deposição de sedimentos neste corpo hídrico é a grande variação topográfica existente entre as áreas onde se localizam as feições erosivas e os corpos hídricos locais, atingindo cotas altimétricas com variação para mais de 70m, chegando a uma estabilização nos limites topográficos inferiores (lagoa), e, nesse caso, se não há energia suficiente para transportar o material erodido, ocorre a deposição e acumulação. Isso sugere que os sedimentos erodidos tenham como destino final a lagoa Antônio Teixeira Sobrinho, conforme a Figura 10, que contém as curvas de nível no contexto topográfico entre algumas áreas com feições erosivas (no centro da figura) e a lagoa no canto superior esquerdo.

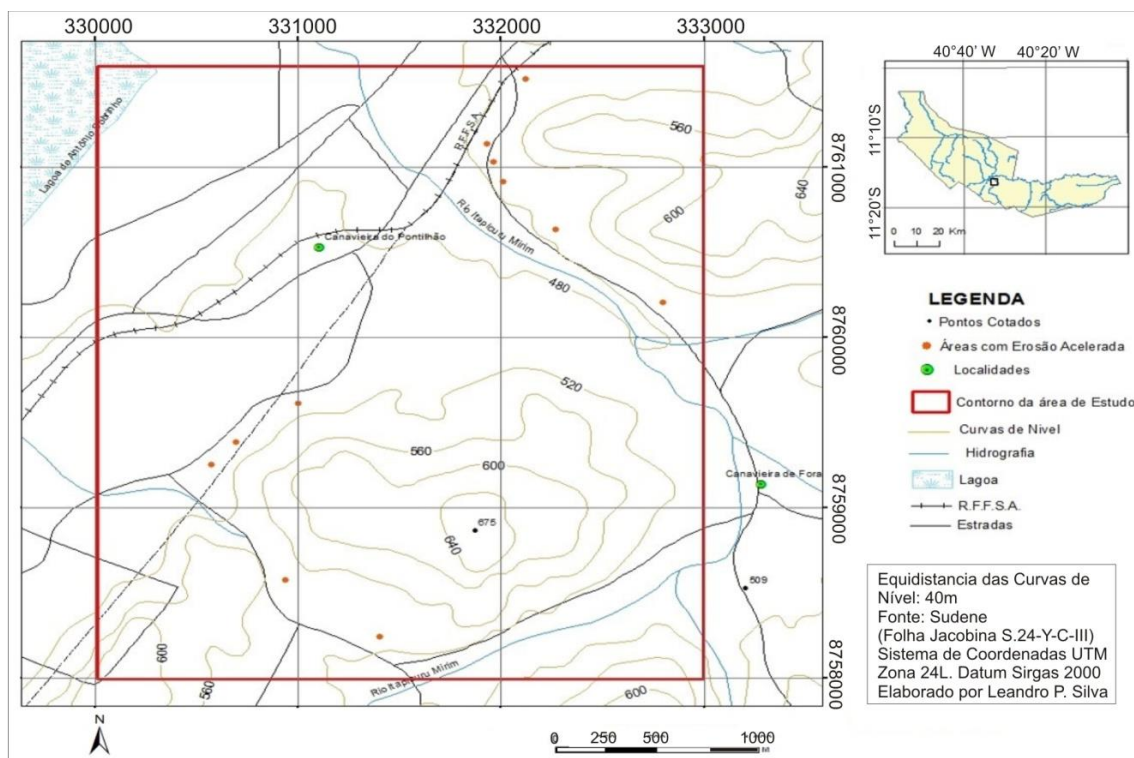


Figura 10 – Mapa Planialtimétrico do trecho onde estão localizadas as voçorocas.

O mapa da Figura 10 sugere que há uma tendência natural (condições geomorfológicas) para uma movimentação de matéria e energia das áreas de extração mineral (areia e cascalho) em cotas altimétricas mais elevadas, para a lagoa Antônio Teixeira Sobrinho, localizada em cotas menores. Destaca-se que essas áreas estão conectadas geomorfológicamente pela mesma vertente. Neste caso é válido afirmar que as atividades mineradoras, ao desestabilizarem as encostas, podem intensificar a movimentação dos sedimentos até a lagoa, provocando seu entulhamento e dos demais corpos hídricos situados no entorno da área.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das análises granulométricas, do teor de matéria orgânica e da caracterização morfológica de dois perfis de solo encontrados na área de extração de areia e cascalho para a construção civil, demonstraram a alta vulnerabilidade aos agentes erosivos. O que pôde ser verificado na textura, com maiores concentrações de areia e silte, associados aos baixos teores de matéria orgânica, que normalmente contribuem para formar unidades estruturais mais frágeis e, portanto, mais fáceis de serem rompidas, acelerando a atuação dos processos erosivos.

Essas características supracitadas podem também ser comprovadas pelo registro da grande ocorrência de feições erosivas, em estágio acelerado (ravinas e voçorocas). Medidas realizadas em apenas uma voçoroca de tamanho pequeno (102,5 metros) apontam uma retirada de 179,46m<sup>3</sup> da encosta. Vale ressaltar que a atividade de exploração de agregados da construção civil, através da remoção dos horizontes superficiais do solo e da cobertura vegetal, contribui para a aceleração desses processos erosivos, que culmina com o assoreamento de alguns corpos hídricos locais, como a Lagoa de Antônio Teixeira Sobrinho e rios Canavieiras e Itapicuruzinho, além de parte do aporte de sedimentos responsável pelo assoreamento do rio Itapicuru-Mirim. Assim, faz-se necessário a interrupção e proibição das atividades de extração mineral, tendo em vista que o processo não segue a legislação vigente, não apresentando medidas paliativas para os impactos ocorridos no entorno e nas áreas de exploração, e oferecem sério risco para manutenção da dinâmica natural da área.

Assim, sugere-se como medida principal a ser tomada para a preservação, correção e recuperação, que seja feita a desapropriação das áreas de exploração, situadas na planície fluvial e nas encostas, pela Prefeitura ou o Estado, para formação de uma Cooperativa de

trabalhadores em extração de agregados da construção civil. Assim, os moradores das comunidades de Pontilhão e Canavieiras, que vivem exclusivamente da atividade de extração de areia e cascalho, iriam adquirir o seu sustento sem provocar tantos danos ao meio ambiente, e teriam a atuação da Cooperativa, munida com uma equipe técnica em alguns setores cruciais para o desenvolvimento de forma sustentável do empreendimento, como: técnico em meio ambiente, técnico em segurança do trabalho e técnico em mineração. Essa equipe teria a função de orientá-los, de forma que a atividade não apresentasse tantos danos ao meio ambiente e seguisse os princípios da legislação que regulamenta o setor.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e INSA através do Edital 35/2010; ao IFBaiano através do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido com Ênfase em Recursos Hídricos (DSSERH), por oportunizar o desenvolvimento da pesquisa. A Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), pela realização das análises de solo gratuitamente.

## REFERÊNCIAS

BAHIA. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS SANEAMENTO E HABITAÇÃO. **Plano Diretor de Recursos Hídricos Bacia do Rio Itapicuru** – Documento Síntese. Salvador: 1995. 267 p.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI, F. N. **Manual técnico de manejo e Conservação de Solo e Água**: Embasamento técnico do programa Estadual de Microbacias Hidrográficas. 2. ed. Campinas: CATI, 1994. 565 p.

BERTONE, J.; LOMBARDI, F. N. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1999. 356 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**: folhas SC. 24/25 - geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: MME, 1983. 856 p.

COUTO, P. A. [*et al.*]. **Projeto Serra de Jacobina**: geologia e prospecção geoquímica. Salvador: CPRM/DNPM, 1978. Relatório Final. v. 1. 415 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Curso de recuperação de áreas degradadas**: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2008. 228 p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Tema e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.). **Geomorfologia uma atualização das bases e conceitos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 458 p.

INFANTI, J. N.; FORNASARI, F. N. Processos de dinâmica superficial. In: \_\_\_\_\_. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e Evolução do Solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Org.). **Pedologia**: Fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 208-291.

LESPCH, I.F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2002. 178 p.

PINHEIRO, C. F. **Avaliação Geoambiental do município de Jacobina através de técnicas de Geoprocessamento**: um suporte ao ordenamento territorial. 2004. 267f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água**: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2009. 279 p.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T. *et al.* (Org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 229-267.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. Gerência de Recursos Hídricos. **Pluviometria do Estado da Bahia (mapa)**. Salvador-BA: 2003.

Recebido para publicação em 10/11/2015

Aceito para publicação em 17/12/2015