



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise dos processos erosivos em áreas suscetíveis a instabilidade de encostas na barragem de Serro Azul, Palmares – Pernambuco

Jânea Cristina Lopes de Souza¹, Maria das Neves Gregório², Dyêgo Lins da Silva³, Márcia C. de Souza Carneiro⁴, Eden Cavalcanti de Albuquerque Junior⁵, Tiago César Cavalcante⁶

¹ Mestra em Tecnologia Ambiental. Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, Instituto de Tecnologia de Pernambuco - ITEP. janeacristina@hotmail.com (autor correspondente). ² Profa. e Pesquisadora, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, ITEP. nevesgregorio@hotmail.com. ³ Mestre em Tecnologia Ambiental, ITEP. dyego.lins@itep.br. ⁴ Doutora em Geociências, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. carmarcia@gmail.com. ⁵ Prof. e Pesquisador, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, ITEP. eden@itep.br. ⁶ Geografo. Instituto de Tecnologia de Pernambuco, ITEP. tcesarvas@hotmail.com.

Artigo recebido em 27/09/2016 e aceito em 03/03/2017

RESUMO

Este estudo objetivou identificar áreas susceptíveis à erosão na área de influência direta da construção da Barragem Serro Azul, no rio Una, município de Palmares - PE. Foram analisadas amostras de solo para avaliação de sua granulometria e utilizadas curvas de nível para geração de mapas topográficos e de declividade a fim de avaliar áreas susceptíveis à erosão. As amostras de solo da margem direita e esquerda apresentaram, respectivamente: Limite de Liquidez de 57 e 46%, Limite de Plasticidade de 39 e 28% e Índice de Plasticidade de 18%. A análise granulométrica revelou um tipo de solo argiloso, sobretudo na margem esquerda, o que favorece ao processo erosivo. Os perfis de topográficos estão distribuídos a partir do eixo principal da Barragem, somando-se 24 perfis. Apesar das maiores cotas de elevação do terreno situaram-se entre 562 a 625 m de altitude, as cotas predominantes nos taludes na direita e esquerda ficaram entre 202 e 205 m, representando uma declividade de 11,9° a 15,8°, respectivamente. Ambas as margens apresentaram um relevo íngreme e montanhoso, com destaque para a margem direita. As áreas susceptíveis à erosão localizaram-se onde se observou um maior grau de declividade, ou seja, ao longo da margem direita e no final da margem esquerda, bem como, nas encostas próximas ao eixo, as quais estão propícias à instalação de processos erosivos e deslizamentos.

Palavras-chave: susceptibilidade, erosão, declividade, topografia, MDT.

Analysis of erosion process in areas susceptible to instability slopes in the Serro Azul dam, Palmares - PE/ Brazil

ABSTRACT

This study aimed to identify areas susceptible to erosion in the area of direct influence of the construction of the dam Serro Azul, the river Una, the city of Palmares - PE. Soil samples were analyzed for evaluation of their particle size and contours used to generate topographic maps and slope in order to assess areas susceptible to erosion. Soil samples of the right and left bank showed, respectively: Limit of Liquidity at 57 and 46%, Limit of Plasticity at 39 and 28% and Index of Plasticity at 18%. The particle size analysis revealed a type of clay soil, especially on the left bank, which favors the erosion process. Topographic profiles were distributed from the main axis of the dam, adding to 24 profiles. Despite the higher terrain elevation quotas were between 562-625 m above sea level, the prevailing quotas on the slopes on the right and left were between 202 and 205 m, representing a steepness of 11,9° to 15,8°, respectively. Both banks showed a steep and mountainous, with emphasis on the right bank. The areas susceptible to erosion were located where there was a greater degree of steepness, ie along the right bank and at the end of the left bank, as well as in the next to the axis slopes, which are conducive to the installation of erosion and landslides.

Keywords: susceptibility, erosion, slope, elevation, DTM.

Introdução

Dentre as principais justificativas para a construção de uma barragem encontra-se a necessidade de geração de energia elétrica e o aumento da oferta de água para a agricultura,

indústria e consumo doméstico. Em uma escala de importância mais reduzida estão, também, controle das cheias dos rios e a consequente prevenção contra enchentes, melhoria das condições de

navegabilidade dos rios, melhoria das condições sanitárias dos rios, além de criação de espaços de recreação e geração de empregos.

As obras para construção de um empreendimento, como uma barragem, exigem grande movimentação de solo (terraplanagem), além de fluxo de veículos pesados e supressão de vegetação. Essas atividades associadas à presença na região, de áreas propensas à erosão, principalmente em relevos movimentados e encostas, poderão ocasionar impactos ambientais, como a alteração de corpos hídricos, solos e vegetação.

As encostas ocupam a maior parte da superfície terrestre, seu estudo é de fundamental importância para a compreensão das paisagens, bem como para o controle da erosão dos solos (Guerra, 2011). Para Guerra (2003), o estudo das formas do relevo é útil à recuperação de áreas degradadas e também na prevenção da ocorrência dos processos erosivos que acontecem em especial sobre as encostas. Essas formas, que dominam grande parte da superfície da terra, se caracterizam por possuir 2 a 3 graus de declividade apenas, limitados por um interflúvio e um talvegue, o risco de erosão é muito pequeno no topo das chapadas, mas aumentam à medida que se aproximam de suas bordas.

As características que influenciam a estabilidade da inclinação das encostas incluem geologia, drenagem, topografia, inclinação (forma e inclinação), tipo de solo e alterações à inclinação (remoção de solo da encosta (LVPC, 2008)). O gradiente é um fator muito importante para a erosão da superfície (Quing-Quan et. al., 2001; Sensoy e Kara, 2014), onde as condições de chuva podem ser diferentes em diferentes graus de declividade dos taludes e não deve exceder aos padrões que permitam a estabilidade da encosta.

Na visão de Selby (1993) e Morgan (1996), as diferentes formas erosivas observadas na natureza encontram-se relacionadas a processos bem intrínsecos, o que dificulta ainda mais o desenvolvimento de estudos voltados para a sua previsão. Bertoni e Neto (1990) e Junior (1998), depreendem que os processos erosivos são consequências da declividade, pluviosidade, comprimento da encosta, capacidade de absorção da água pelo solo, resistência do solo e da densidade da cobertura vegetal. Sendo a água, segundo Liu et al. (1994), Salomão e Iwasa (1995), Quing-Quan et al. (2001) e Sensoy e Kara (2014), o mais importante agente erosivo cujo o escoamento concentrado ocasiona entalhes profundos, bem como o movimento de grandes massas de solo.

Na construção de barragens, além do estudo das formas, da declividade e do comprimento das encostas, é necessário que se realize uma análise dos tipos de solos existentes, bem como, suas propriedades físicas, que desempenham um peso importante no processo de degradação e de recuperação de áreas com alto potencial erosivo. A erosão dos solos, na sua forma mais ampla, embora seja um dos fenômenos naturais mais estudados, ainda é pouco compreendida, principalmente no que se refere à sua previsão, tanto no espaço quanto no tempo (Fernandes et al., 2001) e que isto resulta de complexas interações.

O objetivo desse estudo foi identificar e analisar as áreas em processo de erosão e/ou propícias a instalação de mecanismos dos processos erosivos na Barragem Serro Azul (PE) através das características do relevo e principais propriedades físicas do solo, barragem.

Área de Estudo

A área de estudo está situada na Bacia Rio Una que abrange os Municípios de Palmares, Bonito e Catende, localizados na Zona da Mata e Agreste do estado de Pernambuco.

A Barragem Serro Azul está localizada no município de Palmares entre as coordenadas, UTM 9052000 mN - 200000 Em e 9052000 mN - 206000 Em, bem como, 9048000 mN - 200000 mE, e 9048000 mN - 206000 mE. (Figura 1).

O regime pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Una está associado aos sistemas meteorológicos que atuam no Nordeste brasileiro apresentando uma variabilidade espacial e interanual. Essa variabilidade causa seca severa e enchentes (CONDEPE/FIDEM 2006).

O balanço hídrico da bacia do rio Una é positivo, tendo como referência a precipitação média de 1800 mm/ano, sendo maior nos meses de junho e julho e menor nos meses de novembro e dezembro, enquanto que a evaporação média é de 1025 mm/ano, é maior nos períodos de outubro a janeiro e menor nos meses de maio e junho (LAMEPE/ITEP, 2008). Entretanto, o município de Palmares apresenta uma média de 800 mm no setor oeste e 2200 mm no setor leste, os quatro meses chuvosos, que correspondem ao período de abril a julho, sendo o mês de julho o mais relevante (CONDEPE/FIDEM 2006).

A área estudada geologicamente está inserida na porção meridional da Província da Borborema. A principal característica estrutural da área é a presença de estruturas representadas por um sistema de fraturamento regional. No contexto geomorfológico o relevo de Palmares faz parte da unidade das Superfícies Retrabalhadas, formada

por áreas que têm sofrido retrabalhamento intenso, com relevo bastante dissecado e vales profundos (CPRM, 2005). Esse conjunto de estruturas tem

direções preferenciais NE-SW e NE-WSE e está distribuído a leste da área do barramento (ITEP/OS, 2011).

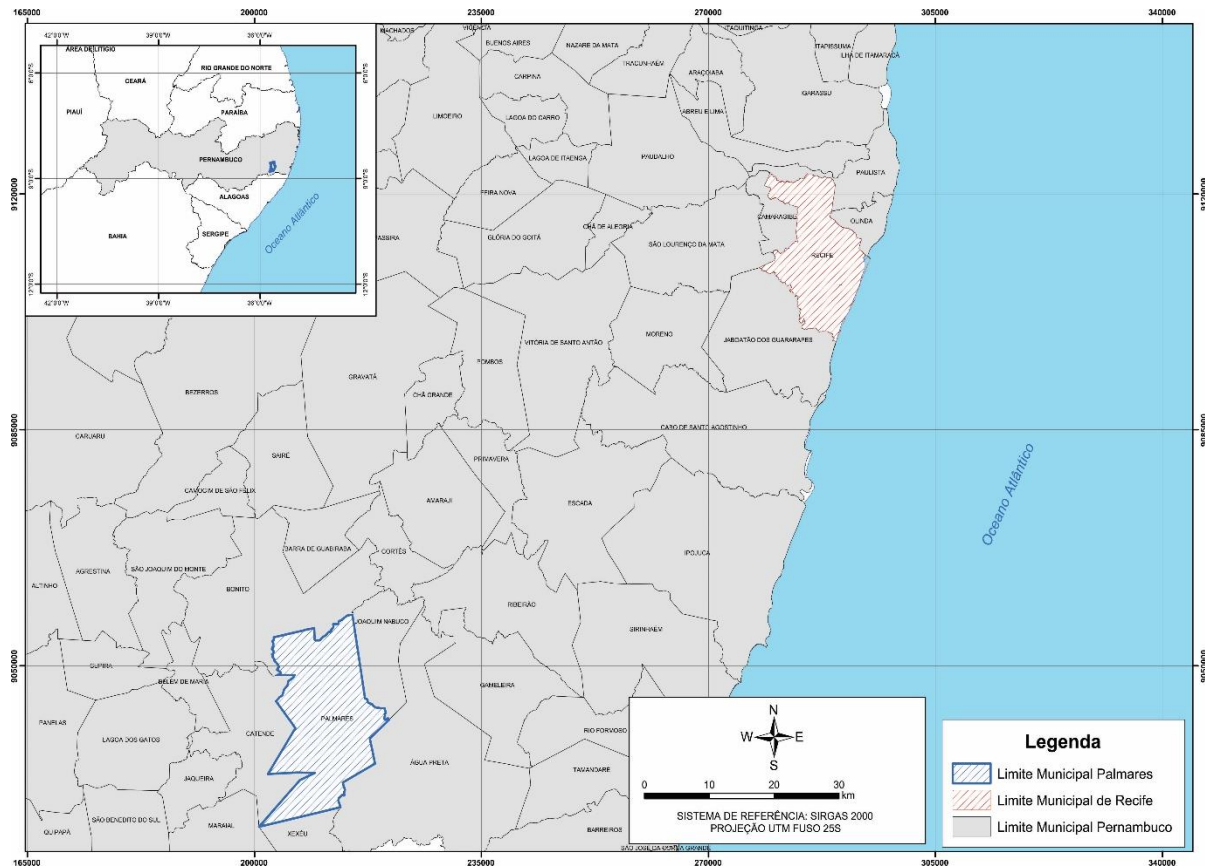


Figura 2. Localização da área de estudo no município de Palmares - PE. Fonte: IBGE, 2010. Elaborado pela UGEO - ITEP/OS (Instituto de Tecnologia).

No contexto geomorfológico o relevo de Palmares faz parte da unidade das Superfícies Retrabalhadas que é formada por áreas que têm sofrido retrabalhamento intenso, com relevo bastante dissecado e vales profundos (CPRM, 2005). A área estudada geologicamente está inserida na porção meridional da Província da Borborema. A principal característica estrutural da área é a presença de estruturas representadas por um sistema de fraturamento regional. Esse conjunto de estruturas tem direções preferenciais NE-SW e NE-WSE e está distribuído a leste da área do barramento (ITEP/OS, 2011).

Toda a área do município situa-se em terrenos do embasamento cristalino, representado por rochas ígneas e metamórficas. Quanto à constituição, são caracterizados por três unidades: a primeira unidade abrange cerca de 40% da área, representada pelo Complexo Belém de São Francisco, constituído de rochas variadas, com fácies megalíticas, fácies mais gnáissicas; a

segunda é constituída pelas rochas metaplutônicas, representada por corpos com dimensões e formas variadas, apresentando às vezes extensos batólitos; a última unidade geológica é representada pela Suíte Cálcio-Alcalina (Granito Itaporanga), se apresenta em forma de batólitos com muitas variações de fácies. As rochas aflorantes nas proximidades do barramento são constituídas por fácies granodioríticas porfíricas e fácies com foliações metamórficas com estruturas obradas e falhadas (CONDEPE/FIDEM 2006).

Os solos dessa unidade geoambiental são representados pelos Latossolos nos topos planos, sendo profundos e bem drenados; pelos Podzólicos nas vertentes íngremes, sendo pouco a medianamente profundos e bem drenados e pelos Gleissolos de Várzea nos fundos de vales estreitos, com solos orgânicos e encharcados. Íngremes: no fundo dos vales os solos orgânicos e encharcados (CPRM, 2005).

Quanto à vegetação na porção ocidental da bacia do rio Una, conforme o CONDEPE/FIDEM

(2006) observa-se a ocorrência de cobertura vegetal característica do semiárido, representada por espécies xerófilas, algumas com espinhos, decíduas e grande presença de Cactáceas e Bromeliáceas. Na porção oriental da bacia cuja maior parte se localiza na Zona da Mata, apresenta vegetação do tipo floresta perenifolia tropical atlântica, hoje já bastante degradada pela ação antrópica para atender a exploração da cultura da cana-de-açúcar.

Material e métodos

Caracterização do solo

Foram coletadas nas margens da Barragem, duas amostras de solos com uma profundidade entre 40 e 60 cm, distribuídas no

talude das duas margens à jusante da barragem (Figuras 2a e b) com a finalidade de determinar as principais propriedades físicas dos solos, através da análise granulométrica, limite de liquidez, índice de plasticidade e limite de plasticidade.

As duas coletas de solos foram realizadas durante o mês de dezembro de 2013, estão assim distribuídas: a primeira coleta na margem direita, localizada próxima à barragem auxiliar, nas coordenadas UTM SIRGAS 2000 (Fuso 25S), 205655 mE e 9049112 mN em uma cota aproximada de 172 m (Figura 2a). A segunda amostra está localizada próxima à área do enrocamento, na ombreira esquerda da barragem, nas coordenadas 205822 mE e 9049900 mN, em cota aproximada de 165 m (Figura 2b).



Figura 2. a) Coleta da amostra de solo nas margens direita da barragem de Serro Azul. b) Coleta da amostra de solo nas margem esquerda da barragem de Serro Azul.

As características pedogenéticas foram analisadas segundo a metodologia específica da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Estas constaram de procedimentos específicos: análise granulométrica do solo e sedimentação – ABNT NBR – 7181; limites de liquidez – ABNT NBR – 6459; limites de Plasticidade- ABNT NBR – 7180; infiltração dos solos NBR 7229/1993 e NBR 13969:1997.

Susceptibilidade aos Processos Erosivos

Para a identificação de áreas suscetíveis ao processo erosivo foram utilizadas as curvas de nível da área em questão, nas quais a partir delas foram gerados o mapa digital do terreno e o mapa de declividade, através de programas ArcGis10.1, na extensão da Ferramenta de Interpolação de dados Topográficos TIN (Triangulation Irregular Network).

As curvas de nível pré-existentes à jusante da barragem foram utilizadas a fim de elaborar o mapa de distribuição da elevação do terreno

(MDT) ou seja das cotas do relevo, e da declividade, também localizadas entre as coordenadas 9052000 mN - 200000 mE, e 9052000 mN – 206000 mE, bem como, 9048000 mN – 200000 mE, e 9048000 mN - 206000 mE, no sistema UTM SIRGAS® 2000.

Os perfis topográficos foram realizados a cada 250 m equidistantes, somando-se 24 perfis, utilizando-se do mapa de elevação e também do programa ArcGis 10.1. Estes estão distribuídos na calha ao longo do rio principal à jusante da barragem. A partir do eixo da mesma, os perfis foram retrabalhados em programas específicos e representados em gráficos.

O mapa de susceptibilidade, foi realizado no mesmo programa, através da ferramenta Spatial Analyst Tools. As classes de susceptibilidade foram definidas com base na associação de números de 1 a 5, enquadrados nas categorias: alta (AS), média (MS) e baixa susceptibilidade (BS). Correlacionando a elevação e a declividade, foi possível construir uma nova legenda onde o

número 1 indica uma baixa susceptibilidade (BS), os números de 2 e 3 média susceptibilidade (MS) e por fim, 4 e 5 como alta susceptibilidade (AS).

Resultados e discussão

Barragem pode ser definida como sendo um elemento estrutural, construída transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinada a criação de um

reservatório artificial de acumulação de água (Marangon, 2009).

Os registros fotográficos na área da Barragem Serro Azul revelaram cortes verticais nas encostas para abertura de vias de acesso, bem como para investigação e retirada de jazida limpa, com grande retirada de material de solo, trazendo alterações na paisagem, propiciando uma maior vulnerabilidade a instalação de processos erosivos (Figura 3 e 4).



Figura 3. Visão geral da área inundável, abertura na parte central o Rio Una.

As áreas abertas observadas na Figura 4 são áreas com processos erosivos, com grande movimentação de solo, em direção a calha do Rio Una, modificando o nível das encostas para o barramento e assoreamento da área inundável.

A causa e efeito, erosão/assoreamento dos cursos d'água e dos reservatórios, decorrente do material erodido são riscos de um único processo em termos de danos causados a um reservatório (Costa, 2012). Para o mesmo autor a movimentação de massa de solos ao longo das encostas marginais de um reservatório decorre da interveniência de uma série de fatores que atuam a

predisposição à estabilização no momento em que se instala o reservatório e/ou barragem. Processos erosivos originam mecanismos de assoreamento, que diminui a quantidade e da qualidade dos recursos hídricos (Guimarães e Santos, 2007). Foram observados cortes verticais com ângulo entre 64° a 70° nas encostas para abertura de vias de acesso, bem como para investigação e retirada de jazida limpa para a construção da ombreira esquerda da mesma (Figura 4). Escorregamentos ocorrem sempre que a inclinação do talude excede aquela imposta ao cisalhamento do maciço e nas condições de presença de água (Marangon, 2009).

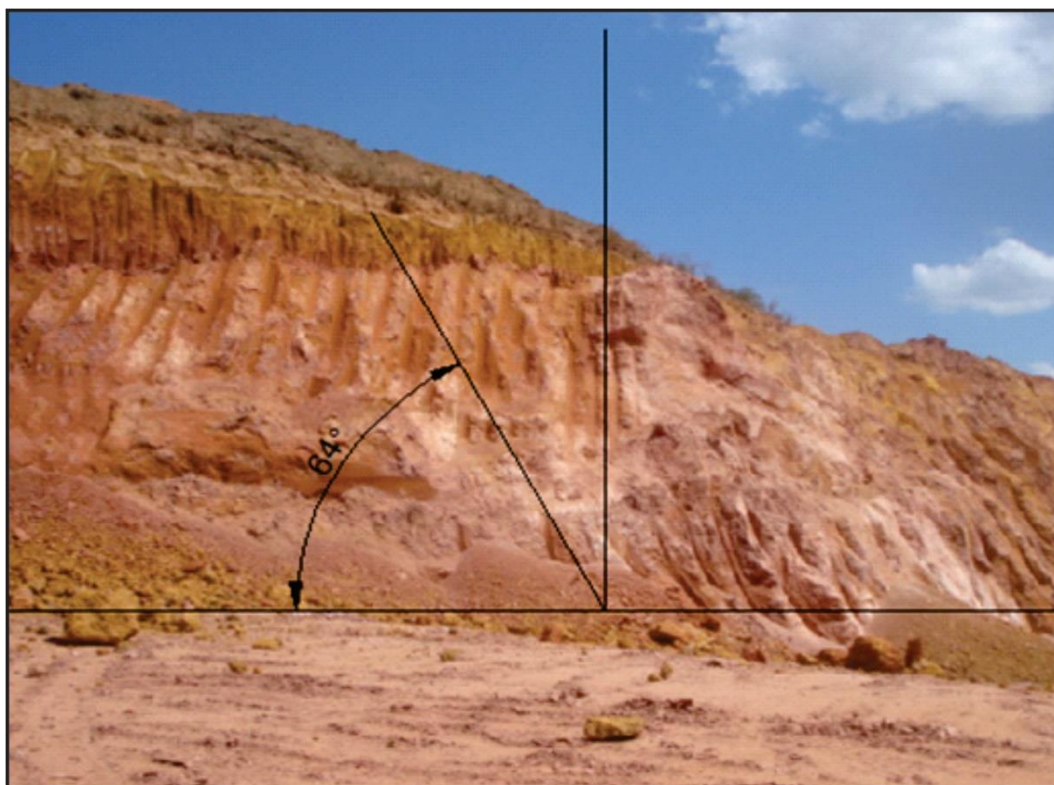


Figura 4. Corte íngreme de encosta com ângulo entre 64° a 70°.

Solos

A consistência do solo (Tabela 1) foi representada pelo Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP). As amostras 1 e 2 de solos apresentaram Limites de Liquidez de 57% e 46% e Limite de Plasticidade de 39% e 28%, respectivamente. O Índice de Plasticidade dos solos coletados de ambas as margens foi de 18%, enquanto a Massa Específica Real foi de 2,531 g/cm³ para amostra 1 e de 2,540 g/cm³ para a amostra 2 (Tabela 1)

O limite de liquidez segundo NBR/7180/94, estuda a quantidade de umidade do solo no qual o solo muda do estado sólido para o estado plástico, ou seja, perde a sua capacidade de fluir. Neste estudo foi observada a maior presença de solo no estado plástico, ou seja, facilmente moldável, com uma capacidade de fluidez também baixa (Tabela 1). Na amostra 1 (margem direita) foi observada uma elevada presença de material argiloso, maior que o observado na amostra 2, ou seja, a margem direita possui um solo mais plástico do que o solo observado na margem esquerda.

O Limite de Plasticidade (LP) pode variar de 0 a 100 (ou mais), mas a maioria dos solos tem LP < 40. Considerando a referida faixa e os resultados encontrados, pode-se inferir que o solo das margens direita e esquerda do rio, no trecho estudado, apresentou um limite de plasticidade

considerado aceitável para a fratura do solo, ou seja, abaixo de 40.

O Índice de Plasticidade (IP), por sua vez, geralmente depende da quantidade e do tipo de material sedimentar presente no solo e é obtido pela diferença entre o Limite de liquidez (LL) e o Limite de plasticidade (LP) (NBR 7180, 1994).

O IP, expresso em porcentagem, pode ser interpretado em função da massa de uma amostra como a quantidade máxima de água que lhe pode ser adicionada, a partir de seu Limite de Plasticidade, de modo que o solo mantenha a sua consistência plástica. As duas amostras de solo contêm material sedimentar semelhante, apresentando IP de 18%.

Sobre a análise granulométrica (Tabela 1, Figuras 5 e 6) das amostras 1 e 2 de solo, respectivamente, foram observados 56% e 47% de argila, 8% e 7% de silte, 25% e 97% de areia fina e 9% para a areia média em ambas as amostras. 2% de areia grossa foram observados na amostra 1 e zero para a amostra 2 (Figuras 5 e 6).

A análise granulométrica foi constatada a ausência de pedregulhos nas duas amostras (Tabela 1). Os resultados dos solos observados revelaram um tipo de solo argiloso, sobretudo na margem direita (amostra 1). A argila corresponde ao menor tamanho na escala granulométrica, apresenta uma baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água, potencializando o risco de erosão.

Tabela 1. Resultado dos ensaios de consistência, massa específica e granulometria dos solos

Local		CONSISTÊNCIA			MASSA ESP. REAL	GRANULOMETRIA					
Barragem de Serro Azul	Amostra	LL* (%)	LP** (%)	IP*** (%)	g/cm³	% Argila	% Silte	% Areia Fina	% Areia Média	% Areia Grossa	% Pedreg.
	1	57	39	18	2,531	56	8	25	9	2	0
	2	46	28	18	2,540	47	7	37	9	0	0

LL = Limite de Liquidez LP = Limite de Plasticidade IP = Índice de plasticidade.

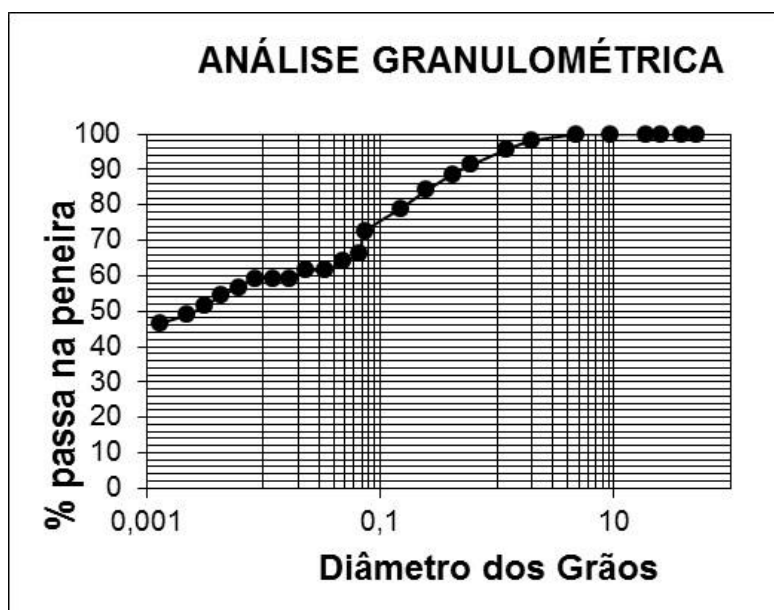


Figura 5. Distribuição granulométrica da amostra 1

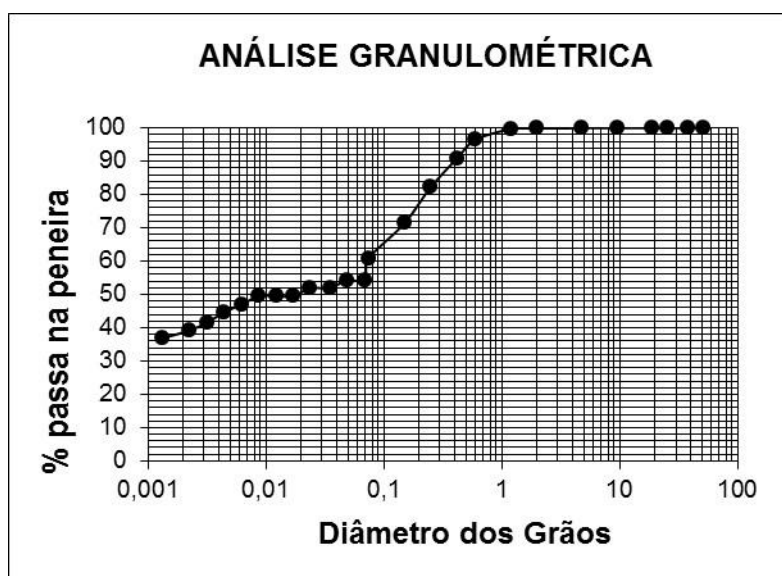


Figura 6. Distribuição granulométrica da amostra 2.

Os solos argilosos apresentam maior força de coesão entre as partículas, o que além de dificultar a penetração, facilita a aderência do solo aos implementos, dificultando os trabalhos de mecanização (Santos et al., 2013). A areia grossa e a fração argila são as frações que apresentam maior resistência à erosão, as areias devido ao seu diâmetro, por ter um peso maior, dificulta a ação da água, e as argilas, devido à sua coesão, são agregados estáveis e oferecem também resistência à ação da água (Guerra e Botelho, 1996).

Os valores de silte observados em ambas as margens foram inferiores em relação à argila, bem como para a areia fina, mostrando assim, uma maior incidência do solo argiloso. Na amostra 1 (margem direita), apresentou um maior percentual para a argila. Foram observados valores do tamanho areia fina em maior proporção do que os valores de silte em ambas as margens.

Elevação do Terreno

Em relação ao relevo, compreende-se que a dinâmica da topografia é um fator natural que determina a velocidades dos processos erosivos. Assim, pode-se afirmar que a declividade tem maior importância quanto maior for o comprimento da encosta. Nas formas do relevo da área da Barragem de Serro azul apresentou um relevo bastante íngreme.

A área que abrange a Barragem Serro Azul apresentou uma elevação do terreno variando entre 150 a 625 m de altitude (Figura 7). Com isso, foi possível observada a presença de um relevo íngreme ao longo das margens direita e esquerda. Sendo, este em maior destaque na margem direita do empreendimento, bem como ao final da área do lago na margem esquerda.

As cotas que predominaram em maior proporção da área da barragem estão situadas entre 150 e 202 m, distribuídas ao longo das duas margens (Figura 7). Porém, a cota entre 202 a 205 m, cobre a maior parte da área da área inundável.

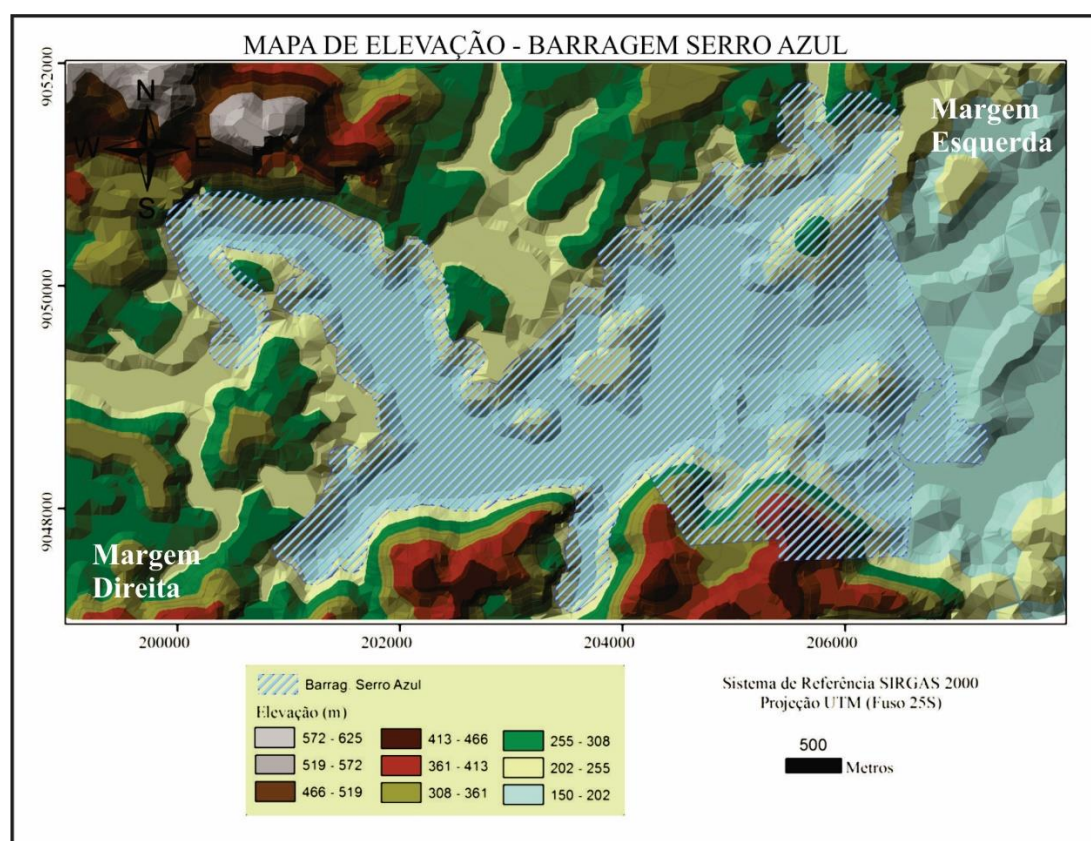


Figura 7. Mapa de distribuição da elevação do terreno da Barragem Serro Azul.

A parte central da área do empreendimento (Barragem Serro Azul) apresenta um relevo plano, interceptado por valores entre 202 e 255 m. As maiores altitudes estão representadas entre as cotas 572 e 625 m, e foram identificadas em um pequeno

trecho, próximo ao final da margem esquerda da barragem. Entretanto elevações entre 466 a 572 m foram observadas nas duas margens, sendo que estes valores na margem direita encontram

próximas ao eixo da barragem, em maior proporção.

Declividade

O estudo da declividade se caracteriza por possuir de 2° a 3°, que formam a maioria do relevo terrestre, separadas por um interflúvio e um talvegue. No topo das chapadas com superfícies planas predominam os processos de infiltração de água, com pouco risco de erosão, entretanto quando se aproxima das bordas o risco de erosão aumenta (Costa, 2012).

Os resultados da declividade da Barragem Serro Azul foram analisados para identificação de áreas susceptíveis a instalação de processos e mecanismos erosivos, mediante a supressão da vegetação. A declividade das encostas apresentou um grau de variação entre os valores de 0° a 66° (Figura 8).

A elevação do relevo da área apresentou uma concentração de um maior grau de declividade na margem direita e no final da margem esquerda do empreendimento.

As encostas localizadas nos limites das margens do lago Serro Azul, a variação da declividade ficou entre 11,13 a 18, 13°. A parte central, correspondente à planície, a declividade observada variou entre 0 a 4, 40°. Os maiores valores de declividade foram observados entre 32° e 66°, estes dados coincidem com as maiores elevações observadas no mapa de elevação. Entretanto, foi observado que na maior parte do empreendimento, os valores da declividade estão entre 4,40° a 11,13°, ocorrendo estes valores em alguns trechos da área inundável nas duas margens. O vale central do rio Una da Barragem Serro Azul se encontra entre os valores de 0,0 a 4,40 (Figura 8).

A execução de cortes em encostas, seja ela para quaisquer fins, inclusive para a implantação de barragens, apresenta, muitas vezes, inclinação e altura excessivas, incompatíveis com a resistência intrínseca do material, o que possibilita a ocorrência de escorregamento (IPT, 1991). Ou seja, quando o corte atinge o solo de alteração, outros condicionantes, denominados de estruturas residuais da rocha (fraturas e demais discontinuidades) podem tornar a encosta mais suscetível a escorregamentos, principalmente, quando esta é submetida à ação das águas (Girão et al., 2007).

Pode-se afirmar que a declividade tem maior importância quando maior for o

comprimento da encosta. Escorregamento por discontinuidades devido ao contato solo-rocha constitui, em geral, uma zona de transição entre esses materiais, quando ocorre um contraste de resistência acentuado entre eles, com inclinação forte e, principalmente, na presença de água, a zona de contato pode condicionar a instabilidade do talude (Marangon, 2009).

A declividade das vertentes possibilita evidenciar a distribuição das inclinações de uma superfície do terreno na paisagem, constituindo-se em uma característica importante na análise do balanço morfogênese/pedogênese, uma vez que a inclinação das vertentes é um dos fatores que contribui para a instabilidade das encostas, ocasionada pelo fluxo torrencial que se dá na superfície, acarretando consequentes processos erosivos e movimentos coletivos de materiais. Com relação à área do empreendimento, essa instabilidade da encosta se apresenta de forma significativa, onde ocorre ou poderá ocorrer a instalação de processos erosivos no seu entorno.

Como consequência dessa interpretação, a área da barragem tem mostrado uma maior incidência à presença de deslizamentos, devido aos cortes realizados na margem esquerda.

Corroborando essa discussão Amorim et al. (2001) e Costa (2012) afirmam que a declividade influencia na intensidade da erosão, uma vez que atua no gradiente das águas, aumentando sua velocidade. Assim, é importante ressaltar que o relevo colinoso e o tipo de solo com baixa capacidade de infiltração contribuem para que tal fenômeno aconteça em períodos de forte precipitação (Tucci et al., 2004).

Os escorregamentos, devidos à percolação d'água são ocorrências que se registram durante períodos de chuva quando há elevação do nível do lençol freático ou, apenas, por saturação das camadas superficiais de solo. Quando os taludes interceptam o lençol freático, a manifestação, eventual, da erosão interna pode contribuir para a sua instabilização. (Marangon, 2009).

Perfis Topográficos

De acordo com Lepsch (1991), a topografia é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Assim, os perfis topográficos da área de estudo, elaborados a partir das curvas de nível e elevação do relevo à jusante da barragem, totalizaram 24 perfis, partindo da margem direita para esquerda (Figuras 9 e 10).

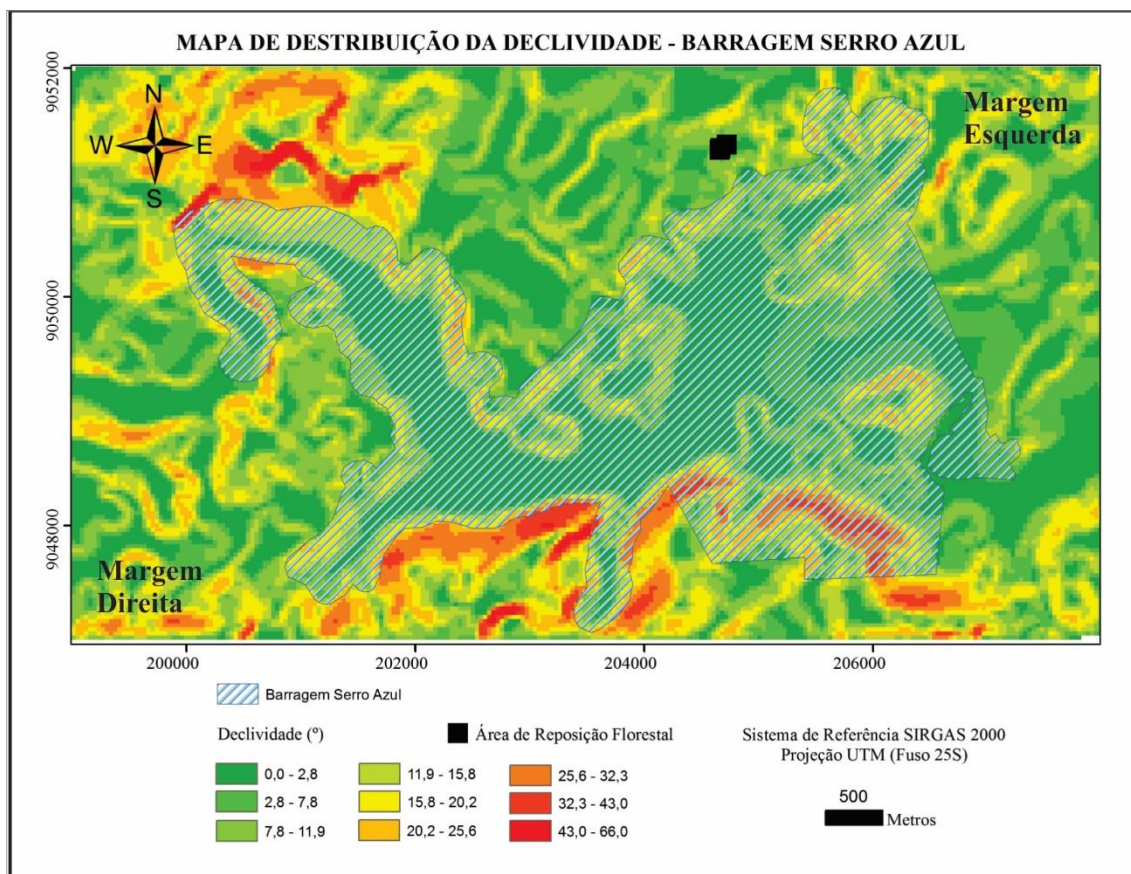


Figura 8. Mapa de distribuição da declividade do relevo.

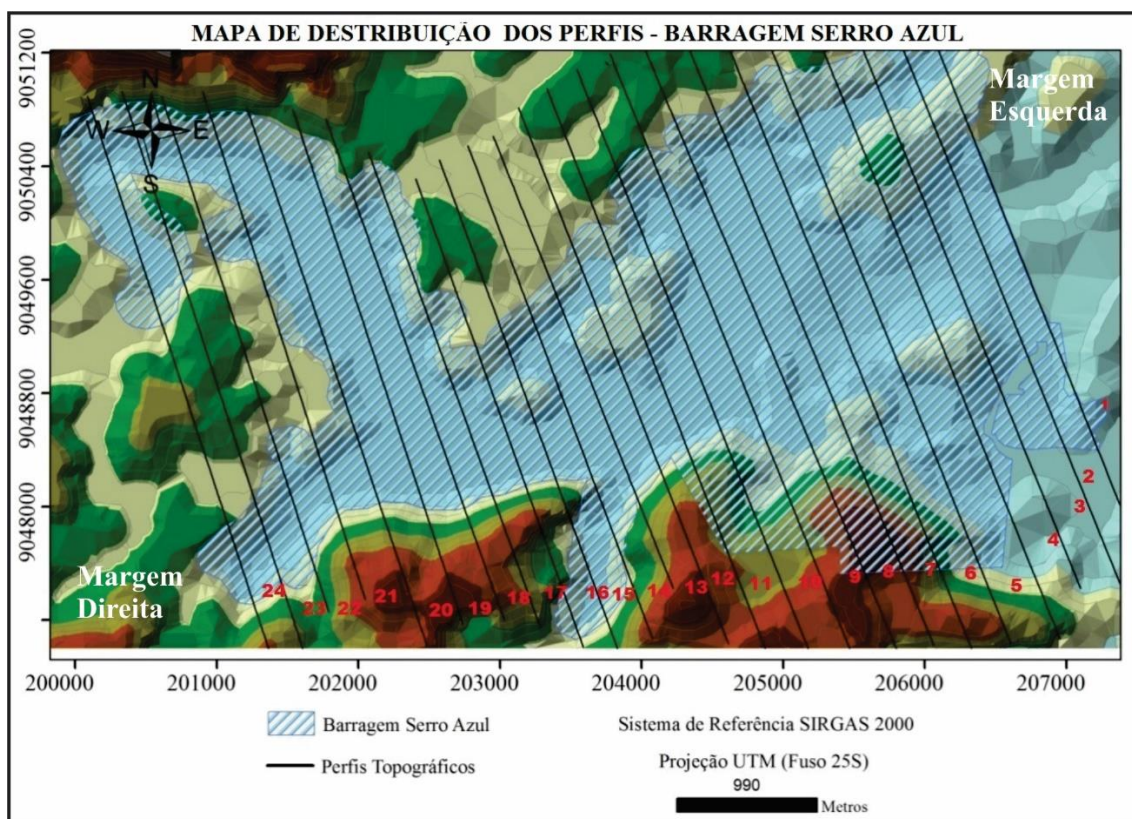


Figura 9. Malha da distribuição dos perfis topográficos da área da Barragem de Serro Azul.

Os perfis topográficos de 1 a 4 estão localizados a jusante da barragem, próximos ao eixo da mesma. Esses perfis apresentaram áreas mais íngremes na margem direita, enquanto os perfis 1 e 2 apresentaram um vale mais amplo na parte central e os perfis 1 e 3, um relevo montanhoso também ao centro.

Os perfis distribuídos entre 5 a 13 (Figuras 09 e 10) estão localizados na parte central do empreendimento, apresentaram também encostas íngremes, sobretudo, na margem direita. Nota-se com isso uma inversão do relevo em suas margens, mais com um vale central também amplo. Os perfis entre 14 a 16 (Figuras 09 e 10) apresentaram também um vale mais estreito e montanhoso. Os perfis localizados entre o 17 a 20, demonstram uma continuidade da margem direita com relevo mais íngreme e montanhoso. Já os perfis localizados entre o 20 a 24, apresentam vales mais estreitos e montanhosos ao centro e áreas íngremes em ambas as margens (Figuras 09 e 10).

Em relação ao relevo, compreende-se que a dinâmica da topografia é um fator natural que determina a velocidades dos processos erosivos. Assim, pode-se afirmar que a declividade tem maior importância quanto maior for o comprimento

da encosta. Nas formas do relevo da Barragem de Serro azul, foi observada a presença de um relevo bastante íngreme ao longo das duas margens, principalmente sobre a margem direita do empreendimento, bem como ao final da área do lago na margem esquerda.

Susceptibilidade à erosão

O Mapa de Susceptibilidade foi identificada as áreas predispostas ao desenvolvimento das feições erosivas (Figura 11). As classes de susceptibilidade foram definidas com base na associação da drenagem da área, do relevo e da declividade. Para a identificação da com susceptibilidade à erosão foram distribuídas em valores de 1 a 5, e enquadrados nas categorias classificadas como: 1 - alta (AS), 2 e 3 - média (MS) e 4 e 5 - baixa susceptibilidade (BS).

A área representada pela cor verde corresponde às áreas de menor susceptibilidade à erosão (Figura 11). As áreas representadas pelas cores amarela e vermelha correspondem as áreas com uma média susceptibilidade à erosão. As áreas que representam a categoria de alta susceptibilidade à erosão, indicadas nas cores marrom e azul.

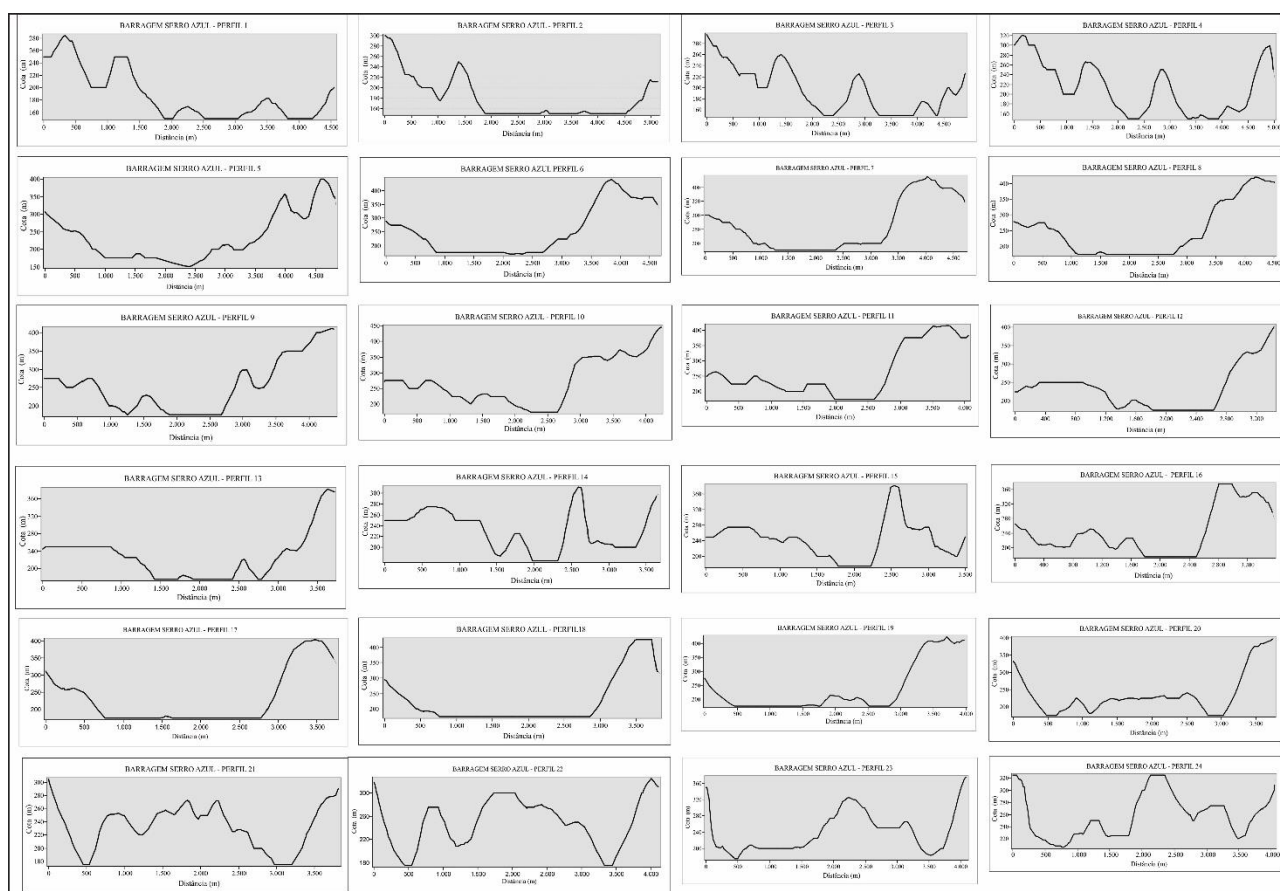


Figura 10. Perfis topográficos do solo na área da Barragem Serro Azul.

Os perfis distribuídos entre 5 a 13 (Figuras 09 e 10) estão localizados na parte central do empreendimento, apresentaram também encostas íngremes, sobretudo, na margem direita. Nota-se com isso uma inversão do relevo em suas margens, mais com um vale central também amplo. Os perfis entre 14 a 16 (Figuras 09 e 10) apresentaram também um vale mais estreito e montanhoso. Os perfis localizados entre o 17 a 20, demonstram uma continuidade da margem direita com relevo mais íngreme e montanhoso. Já os perfis localizados entre o 20 a 24, apresentam vales mais estreitos e montanhosos ao centro e áreas íngremes em ambas as margens (Figuras 09 e 10).

Em relação ao relevo, compreende-se que a dinâmica da topografia é um fator natural que determina a velocidades dos processos erosivos. Assim, pode-se afirmar que a declividade tem maior importância quanto maior for o comprimento da encosta. Nas formas do

relevo da Barragem de Serro azul, foi observada a presença de um relevo bastante íngreme ao longo das duas margens, principalmente sobre a margem direita do empreendimento, bem como ao final da área do lago na margem esquerda.

Em relação às áreas suscetíveis a instalação dos processos erosivos na área do empreendimento foi constatada, que as áreas que apresentaram em alto grau de declividade com perfis íngremes, são as predispostas a instalação desses processos, principalmente onde ocorre as cabeceiras de rede de drenagem do empreendimento, sendo estas localizadas ao longo da margem direita e no final da margem esquerda. O risco geológico está associado principalmente à composição de textura do material e a topografia do terreno. As áreas predispostas ao desenvolvimento das feições erosivas podem ser identificadas no Mapa de Susceptibilidade (Figura 11).

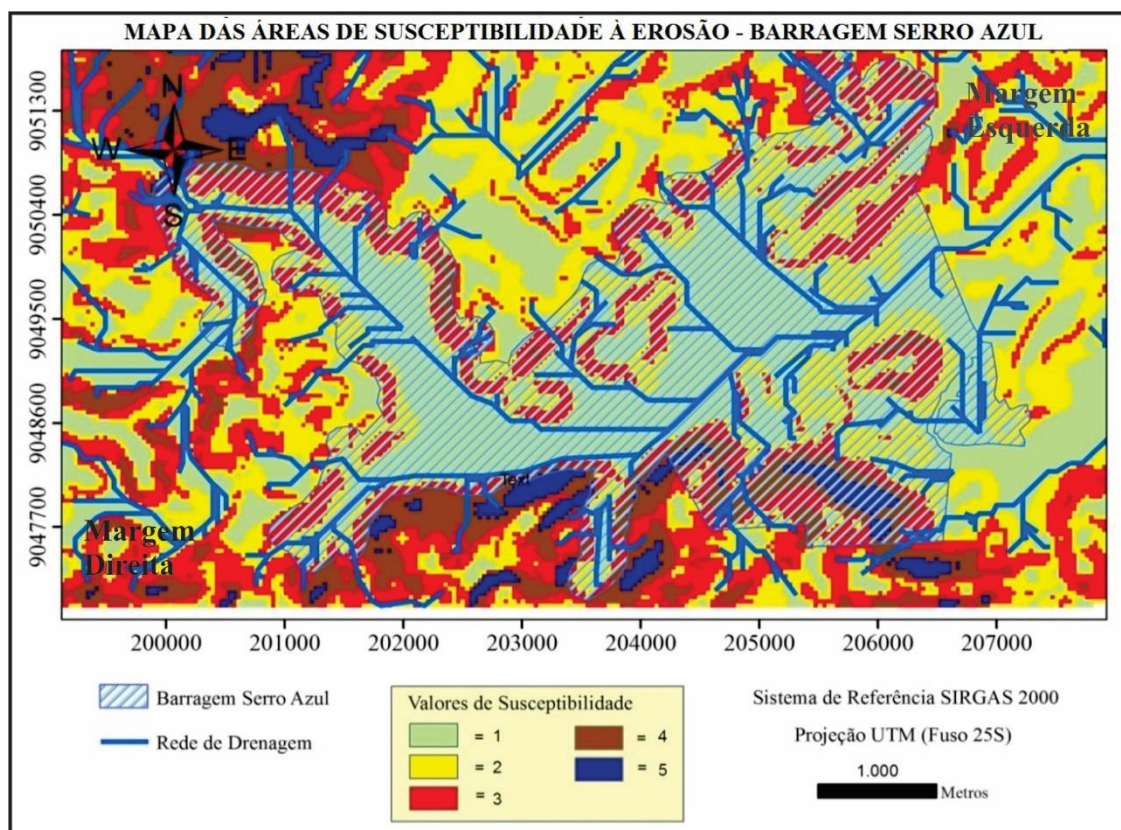


Figura 11. Mapa das áreas de susceptibilidade à erosão na Barragem de Serro Azul.

A implantação de uma barragem acarreta uma série de modificações no ambiente natural, como a remoção de vegetação e movimentação do solo, processos que desencadeiam ou incrementam as taxas de erosão e instabilização dos solos, depósitos de encostas e maciços rochosos

(Hidrotermica S.A, 2014). As altitudes das encostas observadas anteriormente (Figuras 12, 13 e 14), se encontraram alteradas com menor elevação no entorno da barragem. Apresentando materiais residuais nas duas margens da barragem (Figuras 12 e 13).



Figura 12. Barragem Serro Azul. Margem direita, apresentando retirada do material argiloso.



Figura 13. Visão geral do empreendimento apresentando ambas as margens (Julho, 2014).

A elevação do terreno e o grau de declividade das encostas já foram bastante modificados desde o início da construção da barragem Serro Azul. Posteriormente, essa movimentação na área da barragem alterará as condições de estabilidade das encostas em função das variações do nível da água. Desta forma,

fatores de cunho topográficos, que segundo Beven e Kirkby (1979), assume grande importância na atualidade, pois relaciona-se diretamente com a concentração dos fluxos de água e com a consequente saturação dos solos, tem sido uma das etapas fundamentais no monitoramento de áreas de riscos.



Figura 14. Visão da ombreira esquerda Barragem Serro Azul, realizada com material de argila e presença de enrocamento.

Conclusões

Na área onde está sendo erguida a Barragem Serro Azul, as características granulométricas do solo em ambas as margens apresentaram um percentual maior de argila, seguido de areia fina e silte (em menor proporção).

Em relação à consistência do solo nessa área, o Limite de Liquidez se apresentou em maior escala na margem direita do empreendimento, assim como o Limite de Plasticidade.

Ambas as margens apresentaram Índice de Plasticidade iguais, apresentando ainda ausência de pedregulhos.

Foi observado uma grande retirada de matéria de solo (silte - argiloso), para ser utilizado na construção da ombreira esquerda da barragem devido a abertura de novas vias de acesso e a exposição da área a instalação de processos erosivos como sulcos, ravinas e deslizamentos.

Sobre a elevação do Terreno, a área apresentou uma elevação variando entre 150 a 625 m de altitude. Com isso, foi possível observar a presença de um relevo íngreme ao longo das margens direita e esquerda, sendo este em maior destaque na margem direita do empreendimento e no final da margem esquerda.

A declividade é um dos fatores que influenciam na instalação de um processo erosivo, porque esta aumenta a velocidade das águas superficiais nas encostas, associadas à natureza do solo e a cobertura vegetal. Assim, devido à interferência antrópica na área em questão, como a futura retirada da vegetação natural do ambiente, associados ao corte das encostas com taludes muito íngremes pelo empreendimento, as áreas de maiores declives são a mais propícias a instalação de processos erosivos e deslizamento, principalmente na margem esquerda da barragem.

Em relação aos perfis topográficos da área foi observado que a partir do perfil 2, a margem esquerda da barragem apresenta perfis íngremes, com vales estreitos e recortados, entretanto a partir do perfil 7, a parte central do vale se alarga permanecendo as duas margens da área inundável com taludes até o perfil 12. A partir desse perfil até o 19 a inclinação de ambas as margens à jusante da barragem é mais suave, de vale menos profundo. Do perfil 20 a 24, ocorre uma continuidade da margem direita com relevo mais íngreme e montanhoso. No eixo central da barragem a área de vale é mais amplo, com cotas mais suaves e menos íngremes.

A susceptibilidade no entorno da barragem é caracterizada por uma maior atuação na margem direita e no final da margem esquerda, porém, na margem direita a declividade se apresenta em maior proporção, ou seja, as áreas de maior declividade no empreendimento são aquelas com as maiores probabilidades a processos erosivos.

Agradecimentos

Os Autores agradecem a Unidade Gestora de Barragens da Mata Sul e a Unidade de Geoinformação do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP/OS) pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. NBR 6459: solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. NBR 7180: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. NBR 7181: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1993. NBR 7229: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. NBR 13969: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro.
- Bertoni, J., Neto, F. R., 1990. Conservação do Solo, 6 ed. Editora Ícone, São Paulo.
- Amorim, R. S. S., Silva, D. D., Pruski, F. F., Matos, A. T., 2001. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 5, 121-130.
- CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco, 2006. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco Nº 3 Bacia hidrográfica do rio Una, GL 4 e GL 5. Recife.
- Costa, W. D., 2012. Geologia de Barragens. Oficina de Textos, São Paulo.
- CPRM. Serviço geológico do Brasil. 2005. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Pernambuco. Recife.
- Fernandes, N. F., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., Vieira, B. C., Montgomery, D. R., Greenberg, H., 2001. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista brasileira de Geomorfologia 2, 51-71.
- Girão, O., Corrêa, A. C. B., Guerra, A. J. T., 2007. Encostas urbanas como unidades de gestão e Planejamento, a partir do estudo de áreas a Sudoeste da cidade do Recife - PE. Revista de Geografia 24, 242-267.
- Guerra, A. J. T., 2011. Encostas Urbanas, in: Guerra, A. J. T., Geomorfologia Urbana. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 13-38.
- Guerra, A. J. T., Botelho, R. G. M., 1996. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. Anuário do Instituto de Geociências 19, 93-114.
- Guimarães, L. J. R., Santos, L. J. C., 2007. Levantamento das áreas potenciais à erosão laminar como suporte à detecção das áreas-fonte ao assoreamento na barragem Piraquara. Revista Eletrônica Geografar 2, 172-188.
- ITEP/OS. Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2011. Relatório de impacto ambiental: estudo de impacto ambiental – EIA: sistema de controle de cheias da bacia do rio Una – Barragem Serro Azul. Recife.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. Manual de ocupação de encostas. São Paulo.
- Júnior, N. I., Filho, N. F., 1998. Processos de Dinâmica Superficial, in: Chiossi, N. Geologia de Engenharia. Editora ABGE, São Paulo, pp. 131-152.
- LVPC. Lehigh Valley Planning Commission. Steep Slopes, 2008. Guide Model Regulations. Disponível: <http://www.lvpc.org/pdf/SteepSlopes.pdf>. Acesso: 17 Ago. 2016.
- Liu, B. Y., Nearing, M. A., Risse, L. M., 1994. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. American Society of Agricultural Engineers 37, 1836-1840.

- Marangon, M., 2009. Barragens de terra e enrocamento. Disponível: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf. Acesso: 8 Ago. 2016.
- Marangon, M., 2009. Tópicos em geotecnia e obras de terra – estabilidade de taludes. Disponível: http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf. Acesso: 8 Ago. 2016.
- Morgan, R. P. C., 1996. Soil Erosion and Conservation. Addison-Wesley, Boston.
- Quing-Quan, L., Li, C., Jia-Chun, L., 2001. Influences of slope gradient on soil erosion. Applied Mathematics and Mechanics 22, 510-519.
- Salomão, F. X. T., Iwasa, O. Y., 1995. Erosão e a ocupação rural e urbana, in: Bitar, O. Y. (Coord.). Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente Editora. ABGE – IPT, São Paulo, pp. 31-57.
- Santos, H. G., Almeida, J. A., Oliveira, J. B., Lumbreras, J. F., Anjos, L. H. C., Coelho, M. R., Jacomine, P. K. T., Cunha, T. J. F., Oliveira, V. A., 2013. Sistema brasileiro de classificação de Solos, 3 ed. Embrapa, Brasília.
- Selby, M. J., 1993. Hillslope Materials & Processes, 2 ed. Oxford University Press, New York.
- Şensoy, H., Kara, Ö., 2014. Slope shape effect on runoff and soil erosion under natural rainfall conditions. Journal of Biogeosciences and Forestry 7, 110-114.
- Tucci, C. E. M. (Org.), 2004. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3 ed. Editora UFRGS/USP, Porto Alegre.