

## ***Degradação física das áreas de entorno do reservatório da usina hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE BRASIL***

### ***Physical degradation of surrounding areas of the reservoir Luiz Gonzaga / PE BRAZIL***

*Yoly Souza Ramos, Navilta Veras do Nascimento, Maria Sallydelândia Sobral de Farias, Antonio Helio Muniz Fernandes, Jose Quadrelli Neto*

**Resumo** – Avaliaram-se as relações entre as propriedades físicas dos solos com erosão laminar e desbarracamento marginal em área próximas a Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga. Foram elencadas oito áreas A2, A3, A4, A11, A12, A13, A14 e A16, sendo o solo classificado como Neossolo Quartzarênico (RQ). Os solos das áreas experimentais e dos desbarracamentos caracterizam-se por apresentar altos teores de areia, baixas quantidades de argila e silte. A intensidade de erosão laminar nas áreas experimentais foi classificada como nula a pequena e nos desbarracamentos marginais a erosão foi classificada como nula e pequena (A2, A4, A12, A13, A16) e média (A3, A11). O coeficiente de correlação entre argila e areia fina ( $r=0,50$ ,  $p<0,05$ ) foi significativo (Tabela 7). Em geral, foi constatado baixo grau de correlação linear entre a matéria orgânica e argila ( $r=0,45$ ,  $p<0,05$ ), matéria orgânica e areia fina ( $r=0,39$ ,  $p<0,05$ ) e argila e silte ( $r=0,30$ ,  $p<0,05$ ). Dessarte, os atributos físicos das unidades ambientais imprimem fragilidade, sobretudo no que tange a suscetibilidade à erosão e que aportam para o assoreamento do reservatório a longo prazo. Técnicas de bioengenharia são necessárias para atalhar o comprometimento da vida útil do reservatório.

**Palavras-Chave** – Erosão laminar, assoreamento, reservatório.

**Abstract** – We evaluated the relationships between physical properties of soil erosion laminar and marginal, close to the reservoir Luiz Gonzaga Hydroelectric Plant. Were listed eight areas A2, A3, A4, A11, A12, A13, A14 and A16, and the soil classified as quartzarenic neosol (RQ). The soils of the experimental areas and landslides are characterized by presenting high sand content, low amounts of clay and silt. The intensity of laminate erosion in the experimental areas was classified as zero in the small and marginal erosion landslides were classified as null and small (A2, A4, A12, A13, A16) and medium (A3, A11). The correlation coefficient between clay and fine sand ( $r = 0.50$ ,  $p < 0.05$ ) was significant (Table 7). In general, we found a low degree of linear correlation between organic matter and clay ( $r = 0.45$ ,  $p < 0.05$ ), organic matter and fine sand ( $r = 0.39$ ,  $p < 0.05$ ) and clay and silt ( $r = 0.30$ ,  $p < 0.05$ ). Thus faces the physical attributes of the units environmental fragility print, especially regarding the susceptibility to erosion and that contribute to the siltation of the reservoir in the long term.

**Keywords** - laminar erosion, siltation, reservoir.

## **INTRODUÇÃO**

Erosão é o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento; entre os fatores que influenciam na magnitude do processo erosivo, estão as chuvas, a infiltração, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve vários fatores, de forma e magnitude variáveis, conforme o local de ocorrência (CARVALHO, 2009).

A implantação de projetos hidrelétricos na Bacia do Rio São Francisco, ocasionou alteração no regime

hídrico provocando processo erosivo, através do solapamento da base do talude marginal, devido ao abaixamento do nível d'água e do desmatamento da vegetação nativa.

A degradação ambiental gerada pelo processo erosiva em reservatórios afeta a disponibilidade e o fornecimento de água e a geração de energia elétrica, constituindo consequências hidráulicas e econômicas severas, pondo em risco o desempenho da geração de energia elétrica, de abastecimento de água, de navegação (MORRIS e Fan, 1997; CARVALHO, 2000; MAIA, 2006) e eutrofização das águas (MARTINS *et al.* 2003).

Recebido em 12 04 2012 e qceito em 21 12 2012

Doutorando Em Engenharia Agrícola pela UFCG E-mail [yolysramos@hotmail.com](mailto:yolysramos@hotmail.com)  
[navilta@hotmail.com](mailto:navilta@hotmail.com)

Professora Dra. Departamento de Engenharia Agrícola da UFCG [sallyfarias@hotmail.com](mailto:sallyfarias@hotmail.com)  
Geólogo Da Chesf [heliom@hotmail.com](mailto:heliom@hotmail.com)

Engenheiro Ambiental da Confederação Nacional da Industria Gerencia Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade  
[jneto@cni.org.br](mailto:jneto@cni.org.br)

Os processos de degradação atuam sobre os diferentes compartimentos de um sistema ambiental. São decorrentes de perturbações causadas por fatores climáticos como vento, fogo, terremoto, queda de árvores, enchentes etc, em que a resiliência natural do sistema geralmente possibilita sua recuperação (DIAS *et al.*, 2007), ou por ação antrópica devido ao uso indiscriminado da madeira, lenha e carvão; pasto intensivo de animais; fogo; uso e manejo inadequado de solos pela agricultura; mineração; ocupação desordenada das cidades; além do baixo nível de renda e cultural da população (MOREIRA e TARGINO, 1997; Sampaio *et al.* 2003). Esses processos geram a diminuição da fertilidade dos solos na região semi-árida nordestina, sucedido pelo uso e manejo ineficaz e a baixa cobertura vegetal (MENEZES e SAMPAIO, 2002).

Ante o exposto se desenvolveu este trabalho com o objetivo de verificar as relações entre as propriedades físicas dos solos com erosão laminar e desbarrancamento marginal em áreas do entorno da Usina hidrelétrica Luiz Gonzaga.

## MATERIAL E MÉTODOS

O reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga (antiga Itaparica) está situado no rio São Francisco na região fisiográfica denominada de Submédio São Francisco, abrangendo áreas dos Estados da Bahia e Pernambuco. A região está inserida no domínio morfoestrutural da bacia sedimentar, onde as condições litoestruturais e climáticas interferem na drenagem, cujos tributários são predominantemente intermitentes (CHESF, 2008). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo BShw' (LAMEPE, 2011).

O bioma característico da área estudada é a Caatinga, diferenciado por uma vegetação xerófila de florística variável (Jenkins *et al.*, 1994). As análises com o uso de imagem Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM), do satélite Ladsat 7, obtida em julho de 2001, com composição RGB e bandas 543, definiram nove classes de uso e ocupação das áreas nas encostas do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga: água, solo exposto, caatinga hiperxerófila, caatinga hiperxerófila antropizada, caatinga padrão arbustiva rala, caatinga padrão rala a

densa, caatinga padrão arbórea, agricultura e urbana (CHESF, 2008).

Estudos de mapeamento e monitoramento dos processos erosivos nas encostas do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga, fundamentados na identificação das classes de solo e processos erosivos, cálculo da perda de solo por erosão laminar e cálculo do volume assoreado, revelaram 16 áreas (A1 a A16) com processos erosivos (CHESF, 2008) e foram escolhidas oito áreas. O solo das áreas A2, A3, A4, A11, A12, A13, A14 e A16 foram classificados como Neossolo Quartzarênico (RQ).

As análises físicas dos solos e dos sedimentos do reservatório incluíram determinações da granulometria, pelo método do densímetro, empregando-se hexametáfosfato de sódio como dispersante químico; cálculo do grau de floculação (GF) e relação silte argila (S:A) e densidade global (DA) pelo método da proveta, conforme EMBRAPA (1997). E a análise química dos solos incluiu determinação da matéria orgânica (MO) por meio da oxidação por via úmida com dicromato de potássio.

Para o monitoramento das áreas experimentais foram fixados e georreferenciados no solo pinos de erosão e trimestralmente foram coletadas as leituras do rebaixamento da superfície da extensão da área monitorada e coleta do solo para determinação da laboratorial da densidade aparente, no período de dois anos.

A perda de solo através da erosão laminar foi avaliada pela fórmula adaptada de Guerra (2005) e Guerra (2007):

$$PSE = HS \times EXT \times DA$$

Onde:

PSD = Perda de solo através de erosão laminar

HS = Altura média da exposição dos pinos de erosão

EXT = Extensão da área monitorada (largura x comprimento)

DA = Densidade aparente do solo

As amostras dos sedimentos foram coletadas através de amostrador de draga modelo *Petite Ponar*, com sistema de desarme tipo alavanca, com capacidade de 4 litros, sendo auxiliado por barco tipo voadeira (Figura 1).



**Figura 1** – Coleta de sedimentos: (A) draga modelo *Petite Ponar* e (B) homogeneização do sedimento dos pontos C,M,J e (C) Barco tipo voadeira, equipada com motores Yamaha de 25 e 40 HP. (CHESF, 2008).

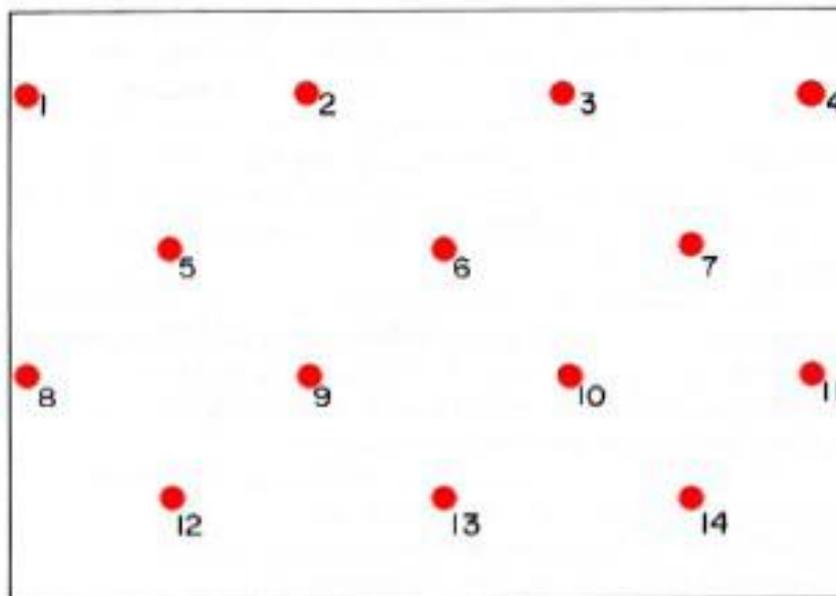
Em seguida, o material coletado foi homogeneizado, acondicionado em saco plástico e enviado ao laboratório (AGROLAB – Análises Ambientais, em Recife – PE). Os pontos de coleta foram georreferenciados com auxílio de GPS de mão MAP 1612 *Garmim* – WASS, em três pontos amostrais, no período de abril e outubro de 2007 e junho de 2008, sendo: central (C); a montante (M) e a jusante (J).

A quantificação da evolução dos processos erosivos nos desbarrancamentos é semelhante aos dos pinos de erosão, sendo distinta a fixação dos pinos, onde são fincados ao redor das ocorrências e afastados a 10 metros da borda do reservatório. Esses pinos foram denominados pinos de linha-controle do desbarrancamento e georreferenciados distanciados um dos outros com variação dependendo da dimensão do desbarrancamento (Tabela 1).

**Tabela 1** – Localização dos pontos da linha-controle dos desbarrancamentos.

Área	Linha-controle Coordenadas em UTM
A2	0579171 – 9005876
A3	0571771 – 9008754
A4	0567751 – 9007420
A11	0554409 – 9016246
A12	0553495 – 9003684
A13	0557025 – 9000480
A14	-
A16	0568537 – 8995076

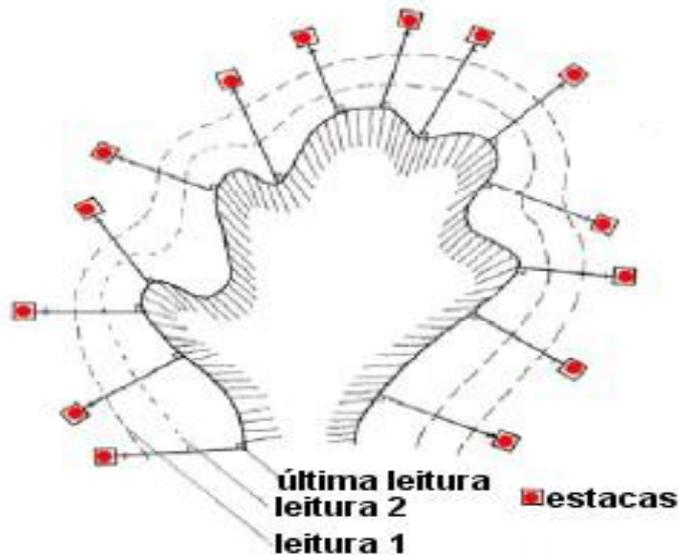
Para o encravamento dos pinos de erosão numerados e plotados num diagrama, para saber exatamente a sua distribuição espacial (Figura 2).



**Figura 2** - Rede de pinos, vista em planta. Fonte: Guerra (2005).

O monitoramento dos pinos de erosão consistiu em voltar às áreas experimentais a cada trimestre, no período de dois anos e medir o quanto cada pino ficou exposto em relação ao solo (as medidas foram feitas em milímetros)

(Figura 3). Esses pinos foram enterrados no solo a 10 centímetros e distantes a 10 metros da borda do desbarrancamento.



**Figura 3** - Disposição das estacas para monitoramento de desbarrancamentos.  
Fonte: Guerra (2005).

Para o cálculo de perda de solo através do desbarrancamento marginal foi adaptada da fórmula, conforme Guerra (2005):

$$PSD = HB \times EXT \times DA$$

Onde:

PSD = perda de solo através do desbarrancamento

HB = altura média do barranco

EXT = extensão da área monitorada (largura x comprimento)

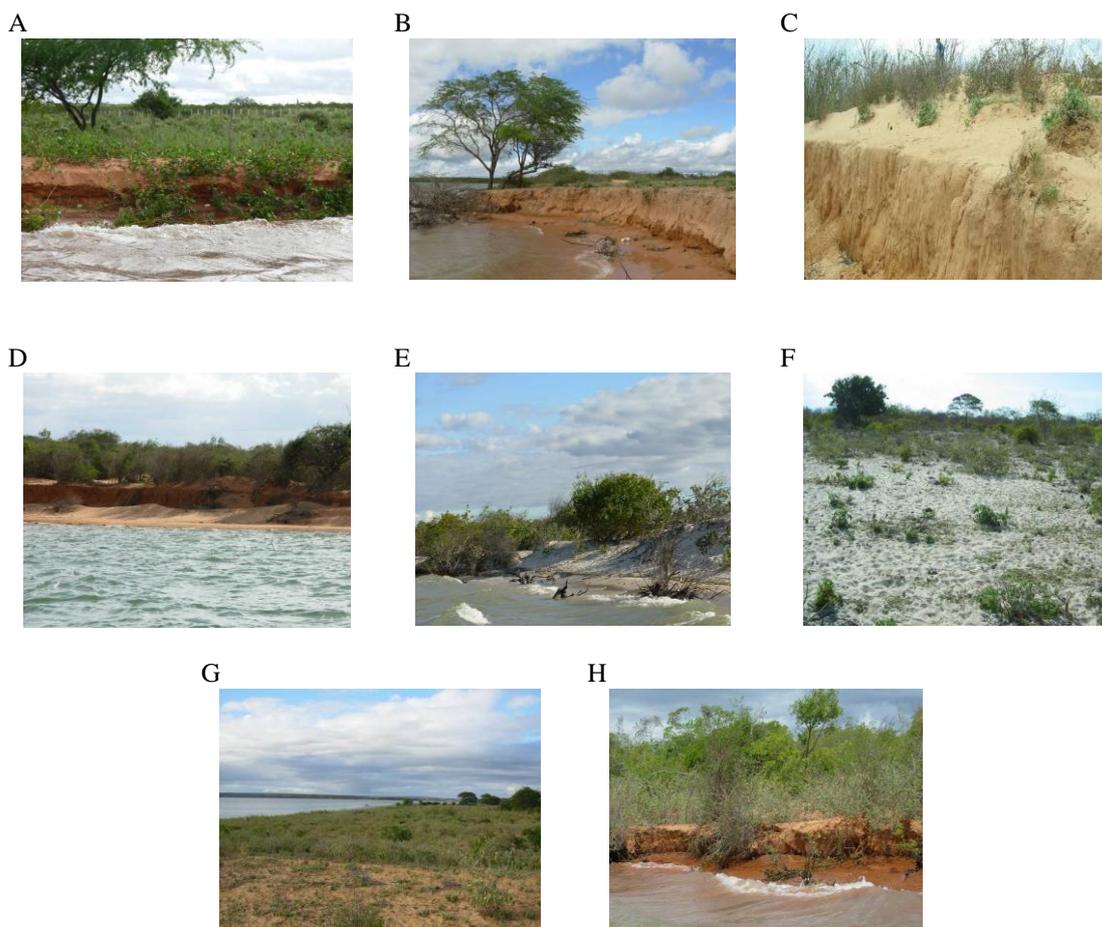
DA = densidade aparente do solo

Para obtenção da altura média do barranco foram realizados levantamento planialtimétrico nas margens das áreas experimentais. Utilizou-se a técnica de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic* = Levantamento Cinemático com Correção em Tempo Real), com o auxílio do receptor GPS *TOPCON TPS GR3* (com frequências L1 e L2) e foram registrados, os dados de posicionamento do topo do barranco em frente a cada barranco, com o auxílio do pino de monitoramento de desbarrancamento.



**Figura 4** – Levantamento Planialtimétrico: (a) Receptor base do GPS RTK, (b) Rastreamento da altura do barranco, (c) Pino de monitoramento de desbarrancamento.

A vegetação nativa, conforme uso e ocupação do solo das áreas, caracterizou-se por caatinga hiperxerófila antropizada (A11, A12, A16), solo exposto (A4) e vegetação antropizada e solo exposto (A2, A3, A13, A14) (Figura 6).



**Figura 6** – Vegetação nativa das áreas estudadas, conforme uso e ocupação: (A) Vegetação antropizada e solo exposto, área A2; (B) Vegetação antropizada e solo exposto, área A3; (C) Solo exposto, área A4; (D) Caatinga hiperxerófila antropizada, área A11; (E) Caatinga hiperxerófila antropizada, área A12; (F) Vegetação antropizada e solo exposto, área A13; (G) Vegetação antropizada e solo exposto, área A14 e (H) Caatinga hiperxerófila antropizada, área A16 (CHESF, 2008).

Os dados foram analisados por estatística descritiva (média) e pelo coeficiente de correlação de Pearson ao nível de 5% de probabilidade. Para a execução das análises estatísticas foi empregado planilhas de cálculo do Microsoft Office Excel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos das áreas experimentais caracterizam-se por apresentar altos teores de areia, baixas quantidades de argila, silte, relação silte e argila e matéria orgânica (exceto nas áreas A2, A11 e A16) e textura arenosa

(Tabela 2). Estas características são comumente encontradas nos Neossolos Quartzarênicos (RQ) que caracterizam por apresentarem baixa capacidade de agregação de partículas, baixos teores de argilas e de matéria orgânica e possuem baixa capacidade de retenção de água (EMBRAPA, 1999). Com isso, possuem alta lixiviação de nutriente e rápida decomposição da matéria orgânica (Correia *et al.*, 2004).

**Tabela 2**– Média das propriedades do solo.

ÁREAS	DA	AG	AF	S	ARG	S/A-	MO
	M	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-	g kg <sup>-1</sup>
A2	1,64	666,00	280,00	31,67	20,33	1,63	20,02
A3	1,73	820,23	140,00	20,00	20,33	1,00	0,08
A4	1,67	526,00	395,33	58,33	21,00	2,85	1,00
A11	1,58	515,00	401,33	37,67	40,33	0,91	27,54
A12	1,62	846,00	111,33	20,33	20,00	0,96	0,31
A13	1,64	645,00	305,33	33,33	20,33	1,60	0,86
A14	1,56	578,67	314,67	58,00	41,00	1,48	2,59
A16	1,44	423,00	492,33	41,33	20,67	0,91	22,46

Dag = densidade aparente, AG = areia grossa, AF = areia fina, S = silte, ARG = argila, S/A = relação silte argila e MO = matéria orgânica.

Oliveira (2005) e Machado (2007) divulgam que a relação silte argila (S:A) é um indicador do grau de intemperismo e evolução dos solos. Os solos apresentam baixa relação (S:A) condição atribuído elevado grau de intemperismo, que é reflexo do clima quente da região.

Os valores altos da fração areia fina encontrados no RQ contribuem para um aumento da susceptibilidade desses solos à ação dos processos erosivos.

Considerando a matéria orgânica como condicionador do solo e seus efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos é necessário a sua aplicação, para promover a fertilidade dos solos (Raij, 1991). O aumento no teor de matéria orgânica poderá

melhorar a porosidade, a estabilidade dos agregados do solo e, conseqüentemente, sua drenagem.

Os valores da densidade aparente (DA) do solo nas amostras dos solos variaram de 1,42 a 1,73 g kg<sup>-3</sup>. Solos arenosos, com densidade global superior a 1,75 g cm<sup>-3</sup>, podem impedir a penetração das raízes das árvores (Kiehl, 1979), o que para solos das áreas estudadas confere condições favoráveis para o crescimento radicular das culturas a ser implantadas.

O cálculo de perda de solo por erosão laminar foi estimado como erosão nula a pequena nas áreas experimentais (Tabela 3).

**Tabela 3** – Produção do solo erodido nas diversas áreas experimentais.

ÁREAS	HP	EXT	DA	PSE
	M	m <sup>2</sup>	g kg <sup>-1</sup>	kg/área de margem (h)/ano
A2	0,009	10.000	1,64	147,00
A3	0,0045	10.000	1,70	76,05
A4	0,007	10.000	1,70	119,00
A11	0	-	-	-
A12	0,005	10.000	1,73	86,50
A13	0,008	10.000	1,69	135,20
A14	0,009	10.000	1,66	149,40
A16	0,0095	10.000	1,60	152,00

HP = altura média de exposição de pinos de erosão, EXT = extensão da área monitorada (largura x comprimento), DA = densidade aparente, PSE = perda de solo através da erosão laminar.

A média das propriedades do solo dos altos teores de areia e baixas quantidades de silte e argila desbarrancamentos marginal caracteriza-se por apresentar (Tabela 4).

**Tabela 4** – Média das propriedades do solo do desbarrancamento marginal.

ÁREAS	AG	AF	S	ARG
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
A2	833	127	20	20
A3	664	266	20	20
A4	685	277	18	20
A11	468	492	20	20
A12	689	271	20	20
A13	687	244	20	20
A14	689	255	35	20
A16	634	324	22	22

AG = areia grossa, AF = areia fina, S = silte, ARG = argila.

O predomínio de areia e silte no desbarrancamento tornam as margens dos corpos d'água vulneráveis à erosão, principalmente, no período chuvoso, onde o impacto das águas e das partículas transportadas são maiores (Andrade e Souza, 2009). O que associado a ausência de vegetação ciliar nas áreas experimentais, aumenta a instabilidades dos desbarrancamentos

marginais contribuído para o aporte de sedimentos ao reservatório.

O cálculo de perda de solo do desbarrancamento das áreas marginais foi estimado uma produção de sedimento classificadas como: erosão nula e pequena (A2, A4, A12, A13, A16) e média (A3, A11) (Tabela 5).

**Tabela 5** – Produção do sedimento através de desbarrancamento marginal.

ÁREAS	HB	EXT	DA	PSD
	m	m <sup>2</sup>	g kg <sup>-1</sup>	kg/área de margem (h)/ano
A2	1,00	18.300	1,64	30.012
A3	1,50	100.000	1,71	256.500
A4	0,75	64.640	1,70	82.416
A11	5,00	46.000	1,67	384.100
A12	1,50	33.000	1,73	85.635
A13	0,50	8.800	1,69	7.436
A14	0	-	-	-
A16	1,50	20.400	1,60	48.960

HB = altura média do barranco, EXT = extensão da área monitorada (largura x comprimento), DA = densidade aparente do solo e PSD = perda de solo através do desbarrancamento.

O coeficiente de correlação entre argila e areia fina (r=0,50, p<0,05) foi significativo (Tabela 7). Em geral, foi constatado baixo grau de correlação linear entre a matéria

orgânica e argila (r=0,45, p<0,05), matéria orgânica e areia fina (r=0,39, p<0,05) e argila e silte (r=0,30, p<0,05) (Tabela 6).

**Tabela 6** – Correlações significativas ao nível de 5% de propabilidade pela análise de Pearson das variáveis físicas do solo e do desbarrancamento marginal das amostras dos solos próximos as bordas do reservatório da usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga.

Variáveis	AG	AF	S	ARG	DA	S/A	MO
AG	1,00				0,28	0,26	
AF		1,00		0,50			0,39
S			1,00	0,30	0,12		
ARG				1,00		0,27	0,45

AG = areia grossa, AF = areia fina, S = silte. ARG = argila, DA = densidade aparente, S/A = relação silte argila e MO = matéria orgânica

O deslocamento e o transporte desses sedimentos dependem principalmente da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição (Cunha, 1998). As forças que atuarão sobre a partícula, podem mantê-la em suspensão ou no fundo do reservatório, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito (Christofoletti, 1981). A deposição de sedimento nos reservatórios é a etapa final de um processo que se inicia com a erosão do sedimento da bacia hidrográfica e o seu posterior transporte para os cursos de água, que é interrompido pela deposição da calha dos rios lagos e reservatórios (Maia, 2006).

Dessarte, os atributos físicos das áreas experimentais imprimem fragilidade, sobretudo no que tange a suscetibilidade à erosão e que aportam para o assoreamento do reservatório a longo prazo. Técnicas de bioengenharia são necessárias para atalhar o comprometimento da vida útil do reservatório da Usina.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, F.C, CRUZ, E.S. DA, PINTO, M.F., SILVA, L.D.B., GUERRA, J.G.M. (2009). Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.13, n.1, 3-9p.
- CARVALHO, N. DE O. Assoreamento de reservatórios – conseqüências e mitigação dos efeitos. In: Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos, 4, 2000. Santa Maria.
- CHESF – COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. (2008). Relatório de mapeamento e monitoramento dos processos erosivos nas encostas do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaparica. 205p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1981). *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 313 p.
- CUNHA, S. B. (1998). Bacias hidrográficas. In: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (Orgs.), *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand do Brasil, 388 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 5.ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.
- DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. (2007). Fertilidade do solo e seu manejo em áreas degradadas, SBCS. *Fertilidade do solo*, 1017p. (Eds. Novasi, R. F., Alvarez, V., Barros, V. H., Fontes, N. F., Cantarutti, R. B., Neves, J. C. L.).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro RJ, 212p.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Org). (2005). *Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações*. 2ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil.
- GUERRA, A. J. T. (2007). Experimentos e processos erosivos nas encostas. In: *Revista do Departamento de Geografia*, n.16, 32-37p.
- JENKINS, A.; PETERS, N. E.; RODHE, A. *HYDROLOGY*. In: Moldan, B.; Cerny, J. (ed.) (1994).. *Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research*. (Scope 51). Chichester: John Wiley, 31-34p.
- Kiehl, E. J. (1979). *Manual de Edafologia – Ralações solo-planta*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 262p.
- LAMEPE – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. Extraído do site: <http://www.itep.org.br/lamepe>. Acessado em: 22 de abril de 2011.