



Universidade Federal
de Campina Grande

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

TESE DE DOUTORADO

**PROCESSO EROSIVO LAMINAR NO ENTORNO DO
RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA LUIZ GONZAGA - PE**

YOLY SOUZA RAMOS

**CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO - 2016**

YOLY SOUZA RAMOS

PROCESSO EROSIVO LAMINAR NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA LUIZ GONZAGA - PE

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Juarez Paz Pedroza

CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- R175p Ramos, Yoly Souza.
Processo erosivo laminar no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga - PE / Yoly Souza Ramos. – Campina Grande, 2016.
86f. : il. color.
- Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
"Orientação: Prof. Dr. Juarez Paz Pedroza".
1. Irrigação e Drenagem. 2. Reservatório - Processo Erosivo. 3. Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga - PE. I. Pedroza, Juarez Paz. II. Título.
- CDU 631.62/.67 (043)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA
AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA DOUTOURANDA

YOLY SOUZA RAMOS

**PROCESSO EROSIVO LAMINAR NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DA USINA
HIDRELÉTRICA LUIZ GONZAGA - PE**

BANCA EXAMINADORA:

PARECER:

Prof. Dr. Juarez Paz Pedroza

Prof. Dr. João Miguel Moraes Neto

Prof. Dr. George do Nascimento Ribeiro

Prof.^a Dra. M^aSallydelândia S. de Farias

Prof.^a Dra. Soahd Arruda R.Farias

Dedico esta tese às mulheres, que a partir de suas histórias de vida, assim como eu enfrentaram ou enfrentam o câncer de mama com bravura e coragem, pelo sorriso estampado no rosto e pelo dom da vida de cada uma delas. Que as tristes histórias que ouvi de detecções tardias, das mulheres que conheci, um dia, logo em breve, sejam apenas histórias de um tempo longínquo, um triste tempo.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, preciso dizer que meus agradecimentos não são formais. Eu não me reconheceria neles se assim os fora!

Quero agradecer a todas as pessoas que se fizeram presentes, que se preocuparam, que foram solidárias e que torceram por mim. Entretanto, bem sei que agradecer não é fácil. Posso cometer mais injustiças esquecendo pessoas que me ajudaram, do que fazer jus a todos que merecem. Também, caso o resultado daquilo pelo o qual se agradece seja ruim, posso passar a impressão de distribuir a culpa entre todos aqueles mencionados neste item. Minha intenção não jaz em nenhum desses dois pontos. Apesar de dever muito, intelectual e emocionalmente, a todas as pessoas mencionadas aqui, as ideias contidas nessa tese são de minha inteira responsabilidade!

De qualquer maneira, todos os que realizam um trabalho de pesquisa sabem bem que não o fazem sozinhos, embora seja solitário o ato da leitura e o do escrever. O resultado desse estudo somente foi possível pela cooperação e pelo esforço de outros antes de nós.

Sendo assim, agradeço a Deus pelo dom da vida.

Aos colegas da pós-graduação, em especial a George do Nascimento Ribeiro e a Luciano Saboya, que me fizeram aprender com seus conhecimentos.

Ao meu orientador, Professor Dr. Juarez Paz Pedroza, pela compreensão do meu estado de saúde e de minhas limitações; e também pelos ensinamentos.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelo incentivo e conhecimentos repassados.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao Engenheiro Ambiental, Dr. José Quadrelli, pelo apoio técnico.

Ao meu esposo, Bruno Diniz, que merece poucas palavras, mas aquelas que me são mais caras. Sei eu que você se orgulha por eu ter atingido uma etapa, mas este orgulho que sente por mim converto numa obrigação de, a cada dia, ser mais digna de representá-lo.

Por fim, à Companhia Hidrelétrica do São Francisco, pelo apoio material para a realização desse estudo, em especial ao gerente do Departamento de Geração de Meio Ambiente, o Engenheiro de Pesca Dr. Elvídio Landim do Rego Lima, ao Geólogo, Dr. Antônio Hélio Muniz Fernandez e à Geógrafa, Dra. Clara Ferreira.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não
sou o que deveria ser, mas, graças a Deus,
não sou o que era antes.”*

(Martin Luther King)

RESUMO

Título: Processo erosivo laminar no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz

Gonzaga - PE

A degradação ambiental, gerada às margens dos reservatórios por meio de processos erosivos, afeta a disponibilidade e o fornecimento de água e a geração de energia elétrica, constituindo graves consequências hidráulicas e econômicas, além de por em risco o desempenho da geração de energia elétrica, o abastecimento de água, a navegação, a eutrofização das águas e a diminuição da vida útil das palhetas das hélices dos roteadores. Objetivou-se mensurar o processo erosivo laminar no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE. Sendo assim, realizou-se um estudo realizado em dezesseis áreas, no período de junho de 2013 à setembro de 2015, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga, que está localizada entre os Estados de Pernambuco e Bahia, na divisão fisiográfica denominada Submédio do São Francisco, 25 km a jusante da cidade de Petrolândia/PE. Foi realizado o levantamento de uso e ocupação do solo, pedológico e caracterização físico-química dos solos, bem como a caracterização física dos solos do desbarrancamento marginal e dos sedimentos do reservatório da usina. Utilizou-se a técnica dos pinos de erosão para medir o rebaixamento superficial da camada do solo, durante o período de dois anos, assim possibilitando as determinações das perdas de solo através da erosão laminar e as perdas de solo através do desbarrancamento marginal, em seguida foi realizada a classificação da erosão. O levantamento pedológico revelou de acordo com os mapas pedológicos anteriores, uma variação nas classes taxonômicas, tais quais: Neossolo Regolítico Eutrófico (RRe), na área 1; Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), nas áreas 2, 3, 4, 12 e 13; Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), nas áreas 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 16; Luvisolo Crômico Órtico (TCo), na área 5; e Planossolo Háptico Eutrófico (SXe), na área 15. A caracterização físico-química dos solos estudados revelou susceptibilidade dos solos a processos erosivos laminar. A perda de solo com erosão laminar nas áreas estudadas variou de 85,00 a 205,20 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo próximas dos limites de tolerância da literatura. A perda de solo do desbarrancamento marginal no entorno do reservatório variou do nível muito baixo (< 6 t.ha⁻¹.ano⁻¹) a severo (>33 t.ha⁻¹.ano⁻¹), imprimindo suscetibilidade ao assoreamento do reservatório a longo prazo. Contudo, faz-se necessário o manejo adequado e a conservação com uso de práticas conservacionistas e edáficas, a fim de aumentar a cobertura vegetal do solo e a vegetação ciliar com o uso de técnicas de bioengenharia para aumentar a vida útil do reservatório da usina.

Palavras-chave: Degradação Física. Fertilidade do Solo. Sedimentos.

ABSTRACT

Titulo: Laminar erosion surrounding the Hydroelectric Plant Reservoir Luiz Gonzaga – PE

The environmental degradation, generated on the banks of the reservoirs through erosion, affect the availability and supply of water and the generation of electricity, constituting serious hydraulic and economic consequences, as well as jeopardizing the performance of electricity generation, water supply, navigation, water eutrophication and the reduction of life of the blades of the propellers of the routers. This study aimed to measure the laminar erosion surrounding the Hydroelectric Plant Luiz Gonzaga / PE. Thus, there was a study in sixteen areas, from June 2013 to September 2015, surrounding the Hydroelectric Plant Luiz Gonzaga which is located between the states of Pernambuco and Bahia, in the physiographic division called Lower Basin of San Francisco, 25 km downstream from the city of Petrolândia / PE. It conducted the survey pedological and physicochemical characterization of soils and physical characterization of soils marginal desbarrancamento and sediments of the plant's reservoir. It was used the technique of erosion pins to measure the surface lowering the soil layer during the period of two years, thereby allowing the determination of soil losses through the laminar erosion and loss of soil through the marginal desbarrancamento then the erosion rating was performed. The soil survey revealed according to the previous soil maps, a variation in taxonomic classes such that: Eutrophic Regolithic Neosol (RR_e) in the area 1; Udorthent Eutrophic (RL_e) in the areas 2, 3, 4, 12 and 13; Entisol (RQo) in areas 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 and 16; Luvisol Chromic Orthic (TC_o) in the area 5; and Planosol Haplic eutrophic (SX_e) in area 15. The physicochemical characterization of the soils studied showed susceptibility of soils to laminar erosion. The loss of soil with laminar erosion in the studied areas ranged from 85.00 to 205.20 kg.ha⁻¹.year⁻¹, being close to the literature tolerance limits. The loss of the marginal desbarrancamento soil around the reservoir ranged from very low (<6 t.ha⁻¹.year⁻¹) to severe (> 33 t ha⁻¹.year⁻¹), printing susceptibility to silting of long term reservoir. However, it is necessary to the proper management and conservation with the use of conservation and soil practices in order to increase soil cover and riparian vegetation using bioengineering techniques to extend the life of the plant's reservoir.

Keywords: Physical Degradation. Soil Fertility. Sediments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases do processo de erosão hídrica do solo	28
Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo das áreas estudadas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.....	39
Figura 3 – Vegetação nativa das áreas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE, conforme uso e ocupação	40
Figura 4 – Mapa de geográfico da localização da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE.	42
Figura 5 – Coleta das amostras dos sedimentos do fundo do reservatório.....	43
Figura 6 – Coleta das amostras dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE.....	43
Figura 7 – Equipamento receptor utilizado para obter as coordenadas em UTM dos pontos de coletas das amostras dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE	44
Figura 8 – Barco tipo voadeira utilizado para deslocamentos e coletas das amostras de solos e sedimentos das áreas estudadas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE	44
Figura 9 – Procedimentos de fixação dos pinos de erosão nas áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.....	48
Figura 10 – Disposição dos pinos de linha-controle para monitoramento de desbarrancamentos, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.....	50
Figura 11 – Equipamento receptor GPS TOPCON TPS GR3.....	51
Figura 12 – Abertura de trincheiras das T1 a T16 para levantamento pedológico em áreas no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE	52
Figura 13 – Mapa de solos das áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE	55
Figura 14 – Matriz de Scatterplots para as variáveis físicas do solo do desbarrancamento da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE	73
Figura 16 – Matriz de Scatterplots para as variáveis físicas dos sedimentos do reservatório da usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização dos pontos de coleta das amostras dos sedimentos, no reservatório da Usina Luiz Gonzaga/PE	45
Tabela 2 – Coordenadas em UTM dos pontos de fixação dos pinos de erosão e a declividade do solo, nas áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.....	48
Tabela 3 – Coordenadas em UTM dos pontos de fixação dos pinos de linha-controle, nos desbarrancamento das áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.....	50
Tabela 4 – Classe e níveis da erosão de acordo com Pereira (2006).....	52
Tabela 5 – Composição física e classe textural dos solos estudados, no entorno da usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE	57
Tabela 6 – Análises químicas de caracterização dos solos com processos erosivos laminar, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE	60
Tabela 7 – Coeficientes de correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson das variáveis físico-químicas dos solos das áreas com processos erosivos laminar, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.....	62
Tabela 8 – Estimativa da perda de solos por erosão laminar nas áreas, no entorno da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga - PE, durante dois anos.....	67
Tabela 9 – Estimativa de perda de solos através de desbarrancamento marginal nas áreas no entorno da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga - PE, durante dois anos	69
Tabela 10 – Média das variáveis físicas dos solos do desbarrancamento marginal das áreas estudadas e dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga - PE, durante dois anos.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACIESP	Academia de Ciências do Estado de São Paulo
AF	Areia Fina
AG	Areia grossa
Al	Alumínio
ANA	Agencia Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARG	Argila
ARGN	Argila Natural
C	Carbono
Ca	Cálcio
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CN	Relação carbono nitrogênio
CTC	Capacidade de troca de cátions
DA	Densidade aparente do solo
Dg	Densidade global
DS	Densidade do solo
DSL	Declividade de solo
EPE	Espaçamento entre pinos de erosão
ETM	Enhanced Thematic Mapper Plus
EXT	Extensão da área monitorada
FAO	United Nations Food and Agriculture Organization
GEF	Global Environment Facility
GF	Grau de floculação
GPS	Global Positioning System
H	Hidrogênio
HB	Atura média do barranco
Hz	Horizonte
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
J	Jusante
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio

LRP	Limite das redes de pinos
M	Montante
m	Saturação por alumínio
Mg	Magnésio
MO	Matéria orgânica
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NLe	Neossolo Litólico Eutrófico
NPE	Número de pinos de erosão
P	Profundidade
pH	Potencial hidrogeniônico
PSD	Perda de solo através do desbarrancamento marginal
PSE	Perda de solo através de erosão laminar
PST	Saturação por sódio trocável
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico
RRe	Neossolo Regolítico Eutrófico
RTK	Real Time Kinematic
RUSLE	Equação Universal de Perda de Solo Revisada
s	Altura média da exposição dos pinos de erosão
S	Silte
SA	Relação silte argila
SB	Soma de bases
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SXe	Planossolo Háptico Eutrófico
TCo	Luvissolo Crômico Órtico
UHE	Usina Hidrelétrica
USLE	Equação Universal de Perda de Solo
UTM	Universal Transversa de Mercator
V%	Saturação por bases

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivos Gerais	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Degradação do Solo	18
3.2 Erosão do Solo: Conceito e Antecedentes	19
3.3 Efeito da Erosão do Solo	23
3.4 Classificação da Erosão do Solo	24
3.5 Tipos de Erosão Hídrica	25
3.5.1 Erosão Laminar.....	25
3.6 Processo Erosivo.....	26
3.6.1 Erosividade e Erodibilidade.....	29
3.7 Perda de Solo	31
3.8 Transferência do Solo Erodido para os Reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE'S)	32
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	35
4.1 Geomorfologia	36
4.2 Vegetação.....	38
4.3 Clima.....	41
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
5.1 Seleção das Áreas de Estudo	42
5.2 Coleta das Amostras de Solo	42
5.3 Coleta das Amostras de Sedimentos.....	42
5.4 Análises Físico-Químicas de Solos.....	46

5.5 Análises Físico de Sedimentos	46
5.6 Fixação e Monitoramento dos Pinos de Erosão das Áreas Experimentais	47
5.7 Determinação Perda de Solo Através da Erosão Laminar	48
5.8 Monitoramento dos Pinos de Linha-Controle nos Desbarrancamentos Marginal	49
5.9 Determinação da Perda de Solo Através do Desbarrancamento Marginal	50
5.10 Classificação da Erosão	51
5.11 Levantamento Pedológico.....	51
5.12 Estatísticas dos Dados.....	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
6.1 Levantamento Pedológico	53
6.2 Análises Física dos Solos.....	56
6.3 Análises Química dos Solos	62
6.4 Determinações das Perdas de Solos por Erosão	68
6.5 Determinação de Perda dos Solos através do Desbarrancamento Marginal.....	69
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

“Erosão dos solos” é um fenômeno natural e contínuo que permanece normalmente em equilíbrio com o processo de formação dos mesmos. Ela é ocasionada pela tendência natural do desprendimento e arraste das partículas do solo e originada pelos agentes erosivos; tais como, vento, gelo; água e organismos sendo intensificada pela interação de fatores edáficos, climáticos, biológicos e antrópicos.

A erosão natural dos solos, ou associada à ação antrópica, é um grande problema ambiental que causa vários tipos de danos à sociedade. Devido ao seu alto poder destrutivo, promove situações de riscos à população, causando prejuízos em diversas áreas das relações humanas. A principal preocupação para a ciência do solo é a sua degradação em termos físicos e químicos; e para a ecologia, é a contaminação da água devido aos sedimentos produzidos pelos processos erosivos que podem provocar o assoreamento de reservatórios e cursos d’água, gerando perdas irreparáveis.

Estudos revelam que projetos hidrelétricos na bacia do rio São Francisco são marcados pela diversificação no uso dos seus recursos hídricos, o que o torna desafiante no que diz respeito ao planejamento adequado para a utilização de suas águas. Entretanto, esses projetos alteram o regime hídrico, acarretando redução das velocidades da corrente, provocando a deposição gradual de sedimentos e consequente assoreamento, erosão marginal, diminuição gradativa da capacidade de armazenamento do reservatório, além de ocasionar problemas ambientais de diversas naturezas.

É estimado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) que 33% dos solos do mundo estão degradados e essa degradação é proveniente de processos erosivos e manejos inadequados do solo. O estudo realizado pela FAO, em 2015, Status of the World’s Soil Resources revela que a perda de solo por erosão elimina 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a área produtiva e fornecimento de nutrientes para as plantas (FAO; ITPS, 2015). Na América do Sul o cenário também é preocupante, pois cerca de 50% dos solos latinos são prejudicados pelos processos erosivos.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco apresenta solos pouco profundos, com baixa fertilidade natural e baixa precipitação pluviométrica, potencializando os processos erosivos nas áreas do entorno da bacia (ANA, 2004).

A degradação ambiental, gerada nas áreas no entorno dos reservatórios com processos erosivos, afeta tanto a disponibilidade quanto o fornecimento de água e a geração de energia

elétrica, constituindo graves consequências hidráulicas e econômicas, pondo em risco o desempenho da geração de energia elétrica, o abastecimento de água, a navegação, a eutrofização das águas e a diminuição da vida útil das palhetas das hélices dos roteadores.

Sublinha-se, também, que os sedimentos, partículas sólidas originadas da erosão do solo e das rochas, transportam nutrientes fundamentais para a manutenção da comunidade aquática e terrestre. Esses sedimentos são vitais para a formação e manutenção de praias de rios; bem como para o equilíbrio do fluxo sólido e líquido entre os continentes e oceanos, constituindo fator fundamental para a dinâmica dos cursos d'água, além de transportarem nutrientes que servem de alimentos para alguns animais ou para a eutrofização de reservatórios; etc.

A preocupação com os impactos decorrentes da erosão dos solos no entorno dos reservatórios não é recente. Na verdade, esta apreensão veio à tona quando os primeiros reservatórios passaram a ter sua operação alterada por este fenômeno. Atualmente, o problema é tratado, na maioria das vezes, com ações corretivas, não sendo vislumbradas ações preventivas, como: o melhoramento da qualidade dos solos, recomposição da mata ciliar e práticas conservacionistas nas áreas marginais dos reservatórios, as quais minimizariam os impactos negativos, inclusive econômicos, oriundos do processo erosivo que ocasiona o assoreamento do reservatório.

A Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga pertence à Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), com área de drenagem de 592.479 km², bacia hidrográfica na ordem de 630.000 km², com extensão de 3.200 km, desde sua nascente na Serra da canastra em Minas Gerais, até sua foz em Piaçabuçu/AL e Brejo Grande/SE. A capacidade de gerar energia elétrica é cerca de 1.400.000 kW e o reservatório armazena no entorno de 11.000.000.000 m³ de água (CHESF, 2013).

O reservatório da usina tem importância para as atividades de pecuária extensiva, predominantemente, caprinocultura e bovinocultura de leite e corte em pequena escala, bem como as atividades agrícolas como agricultura irrigada, representada pelos projetos de irrigação implantados às margens do reservatório (CHESF, 2013).

Para melhor eficácia das ações a serem desenvolvidas nas áreas no entorno dos reservatórios, é primordial a realização de estudos que indiquem áreas prioritárias para as intervenções, ou seja, aquelas que estão mais suscetíveis aos processos erosivos laminar e ao transporte de sedimentos para os corpos hídricos. Desta forma, é possível concentrar esforços e investimentos direcionando as ações nas regiões das bacias onde o problema da erosão dos solos tem o maior potencial de contaminação dos corpos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral da pesquisa foi mensurar o processo erosivo laminar no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga, no curso do rio São Francisco, situada no Estado de Pernambuco.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Levantar o uso e ocupação do solo na área no entorno do reservatório;
- b) Realizar levantamento pedológico;
- c) Caracterizar, enfocando o aspecto físico-químico, os solos em 16 (dezesesseis) áreas experimentais;
- d) Realizar caracterização física dos sedimentos do reservatório em 16 (dezesesseis) pontos próximos as áreas experimentais no entorno do reservatório;
- e) Estabelecer caracterização física dos solos do desbarrancamento marginal das (dezesesseis) áreas experimentais;
- f) Determinar as perdas de solo superficial (laminar) das áreas experimentais e;
- g) Determinar as perdas de solo dos desbarrancamentos marginais das áreas experimentais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Degradação do Solo

A degradação do solo pode ser definida como um processo que reduz a capacidade atual ou potencial do solo para produzir bens ou serviços (GALINDO *et al.*, 2008).

O conceito oficial mais adotado pela United Nations Food and Agriculture Organization (FAO, 1995), define a degradação como a perda temporária ou permanente da capacidade produtiva da área. Para os Programas do Global Environment Facility (GEF, 2003), é entendida como qualquer forma de deterioração do potencial natural da área que afeta a integridade do ecossistema em termos de qualquer redução na produtividade e sustentabilidade ecológica ou em termos da riqueza biológica natural e manutenção da resiliência. Para Barbosa (2008), a degradação depende da intensidade do dano ao solo. Caso o ambiente não se recupere sozinho em um tempo razoável, diz-se que ele está degradado e a intervenção humana é necessária. Se o ambiente mantém sua capacidade de regeneração ou depuração (resiliência), diz-se que ele está perturbado, e a intervenção humana apenas acelera o processo de recuperação. A degradação intensa, com perda de resiliência, resulta notadamente em áreas degradadas (CORRÊA *et al.*, 2007).

Para GEF (2003), a degradação de áreas está relacionada a alterações na estrutura e à perda de nutrientes do solo, decorrentes de processos como a erosão eólica, escoamento superficial, alagamentos, salinização e compactação do solo. As principais causas da degradação são os usos inapropriados da terra, principalmente as práticas de agricultura não sustentável, pastejo intensivo e desmatamento.

Dias e Griffith (1998), fazendo referência ao Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas, citam, os seguintes, como principais fatores de degradação de solos: o desmatamento ou remoção da vegetação nativa para fins de agricultura, florestas comerciais, construção de estradas, mineração e urbanização; o super pastejo da vegetação; as atividades agrícolas com uso insuficiente ou excessivo de fertilizantes; o uso de água para irrigação de baixa qualidade; o uso inapropriado de máquinas agrícolas; a ausência de práticas conservacionistas de solo; a exploração intensa da vegetação para fins domésticos, como combustível, cercas etc., expondo o solo à ação dos agentes de erosão; e as atividades industriais, bioindustriais ou de mineração que causam a poluição do solo.

No Brasil, assim como na maioria dos países pobres ou em desenvolvimento, as principais causas de degradação estão relacionadas ao baixo custo da terra, da água e de

outros recursos naturais, associados à falta de acesso à terra pelas populações e ao baixo ou nenhum incentivo às práticas de manejo sustentável do solo e da água (GEF, 2003).

As consequências gerais da degradação, segundo Noffs *et al* (2000), são: o empobrecimento do solo, acarretando perda da capacidade produtiva e maiores gastos com a produção agrícola ou com a recuperação; o assoreamento de rios com diminuição da profundidade dos leitos e da capacidade de transporte, aumento das cheias e impacto sobre a ictiofauna; o assoreamento de reservatórios e açudes, resultando em perda da capacidade de geração de energia e comprometimento da qualidade da água para os usos diversos; e o entulhamento de depressões e várzeas, através do acúmulo de material carregado e resultando na destruição dos ecossistemas de áreas úmidas e áreas agrícolas e propagação de doenças.

A degradação ambiental gerada pelo processo erosivo em reservatórios coloca em risco a disponibilidade e o fornecimento de água e a geração de energia elétrica, constituindo um problema com graves consequências hidráulicas e econômicas, pondo em risco o desempenho da geração de energia elétrica, de abastecimento de água e de navegação. De acordo com Morris e Fan (1997) e Carvalho (2008), os impactos provenientes da erosão do solo nos reservatórios com o passar dos anos se tornam mais severos e mais fáceis de serem constatados, e de difícil solução.

A erosão do solo em áreas próximas aos reservatórios vem sendo tratada por ações corretivas, não sendo vislumbradas ações preventivas, a exemplo de melhoramento da qualidade dos solos, de recomposição da mata ciliar e práticas conservacionistas nas áreas próximas dos reservatórios, as quais minimizariam os impactos negativos, inclusive econômicos, trazidos pelo processo erosivo (MAIA, 2006).

3.2 Erosão do Solo: Conceito e Antecedentes

Erosão do solo é um processo superficial de grande importância no equilíbrio de um sistema. O termo erosão tem origem no latim com a palavra ‘erodere’, que significa escavar. Tal como a agricultura, a erosão do solo tem raiz no passado. É um problema que acompanha a humanidade desde os seus primórdios, sendo que, em alguns momentos da história, se ela não foi o principal dizimador de uma civilização, certamente foi um dos mais importantes. Os desertos do Norte da China, Irã, Turquia, Iraque e Norte da África contam a mesma história do gradual esgotamento do solo à medida que as exigências crescentes, pela progressiva civilização, excediam seu poder recuperativo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

As principais investigações científicas sobre erosão do solo foram produzidas por

Wollny, entre os anos 1877 e 1895, sendo cognominado de “o pai da conservação do solo”. Ele associou a obstrução dos poros do solo, resultante do impacto da gota da chuva, em solo desprovido de cobertura vegetal, com o aumento da enxurrada. Após os trabalhos de Wollny, foram realizadas várias pesquisas, dentre elas, as desenvolvidas por Laws (1940), que retrataram o salpico como o estágio inicial da erosão.

Os primeiros estudos de erosão do solo em áreas próximas de reservatórios começaram a aparecer com regularidade na literatura internacional na década de 30, através de trabalhos de Fiock (1934), Grover e Howards (1938) e Eakin (1939). No Brasil, a partir de 1981, foi dada ênfase ao problema através de trabalhos desenvolvidos por Ponçano *et al* (1981); Gimenez *et al* (1981) e Carlstron Filho *et al* (1981), que apresentaram resultados de estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em convênio com a Eletrobrás, nos reservatórios de Capivari, no Paraná e de Passo Real e Ernestina, no Rio Grande do Sul, onde apresentaram um modelo de assoreamento de reservatórios. Maia (2006) verificou as consequências da erosão na operação de reservatórios formados por hidrelétricas; enquanto Carneiro (2007) estudou a erosão laminar na área do reservatório da Usina Hidrelétrica Cana Brava-Minaçu, em Goiás. Já Cortez (2013) verificou o desempenho modelos numérico em estudos de assoreamento de reservatórios - caso UHE Aimorés.

No meio científico, o termo erosão do solo é usado para designar o processo de desagregação de partículas do solo e/ou de rochas, seguido do seu transporte e sedimentação; sendo que esta sedimentação depende de outros fatores que determinam as condições do fluxo das partículas desagregadas (PITTELKOW, 2013).

A erosão do solo é, portanto, um processo natural, que pode ocorrer relacionada a agentes erosivos como: vento, gelo, água e organismos; influenciando de forma direta na gênese e evolução das vertentes. Esse processo, de acordo com Bigarella (2003), é definido como a relação de fragmentação mecânica e a decomposição química das rochas, bem como a remoção superficial ou subsuperficial dos produtos do intemperismo.

Para Carolino de Sá (2004), a erosão do solo é o transporte de partículas de solo por agentes naturais, portanto, conceitualmente, pode-se dizer que se trata de processos de desgaste da superfície terrestre, devido à ação de agentes naturais (água, vento, gelo) e de organismos vivos (animais e plantas).

Para Amorim (2004), a erosão do solo consiste no processo de desprendimento e transporte das partículas do solo, sendo responsável por grandes prejuízos, não só para a exploração agropecuária, mas também para diversas atividades econômicas e para o próprio meio ambiente. Foi decisivo para os estudos de erosão do solo o conceito de que este é um

processo mecânico, cuja energia necessária vem, em grande parte, do impacto da queda da gota da chuva e do declive do solo.

Para Carvalho (2008), a erosão do solo é um fenômeno do desgaste das rochas e dos solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes, como o vento.

Carneiro *et al* (2014) ainda comentam que a erosão do solo em ambiente ecologicamente equilibrado se dá de forma lenta. O contrário ocorre em ambientes desequilibrados, onde o processo erosivo se dissemina, principalmente, quando o solo está sujeito às ações eólica, pluvial e antrópica.

As ciências ambientais definem a erosão do solo como o desgaste e/ou arrastamento da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos, incluindo processos como arraste gravitacional (ACIESP, 1987). Nos estudos ligados às Ciências da Terra, o termo é aplicado aos processos de desgastes da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, do vento, do gelo e de organismos (plantas e animais), além da ação do homem (CARVALHO, 2006). Do ponto de vista agrícola, Porto (1986), Almeida Filho e Rezente Junior (2001) entre outros, definem a erosão do solo como sendo a desagregação e remoção das partes constituintes do solo, através da ação da água, do clima, do gelo ou dos organismos.

Os efeitos negativos da erosão do solo incluem a redução da fertilidade, a redução da capacidade de armazenamento de água no solo, a poluição e o assoreamento dos corpos hídricos (BAKKER *et al.*, 2005). Todos esses pontos negativos podem fundamentalmente levar a desafios sociais, tais como o abandono das terras e o declínio das comunidades rurais (BAKKER *et al.*, 2005). Já em relação aos recursos hídricos, as principais consequências da intensificação da erosão do solo é o assoreamento de mananciais e a mudança nos padrões de qualidade da água (ARAÚJO *et al.*, 2005).

A erosão do solo é um processo físico que se inicia a partir do momento em que as gotas de chuva atingem a superfície do solo e destroem os agregados, sendo finalizado em três etapas: desagregação, transporte e deposição de partículas do solo. Este processo é resultado da interação de vários fatores que se manifestam em intensidades variáveis, a depender do clima, do tipo de solo, da topografia, da vegetação, da rugosidade superficial, da porcentagem de cobertura do solo existente e da época da ocorrência das chuvas seguintes (SCHICK *et al.*, 2000; CARVALHO *et al.*, 2002; CASSOL; LIMA, 2003; PANACHUKI *et al.*, 2006; PINESE JÚNIOR *et al.*, 2008). Portanto, a erosão do solo é um processo complexo que envolve vários fatores, de formas e magnitudes variáveis, conforme o local de ocorrência.

É possível distinguir dois tipos de erosão, segundo sua origem: I) Erosão geológica ou natural e; II) Erosão acelerada, antrópica ou induzida pelo homem. A primeira é aquela que ocorre na natureza através de milhões de anos (tempo geológico) mediante processos de intemperização das rochas na superfície da terra, nos quais as taxas de erosão prevalecem sob as condições ambientais não perturbadas ou naturais. A quantidade de solo formado, geralmente, se encontra em equilíbrio com o solo removido por agentes erosivos (TOY *et al.*, 2002). A segunda é provocada pelas atividades do homem sobre o meio.

MacArthur *et al* (2008) relatam que a erosão geológica ou natural é o resultado de movimentações tectônicas, terremotos, intemperismo e decomposição química, além da ação da água, do vento, gravidade e do gelo ao longo de milhares de anos. As taxas de erosão natural são consideradas lentas ao longo do ciclo de vida humana, porém, em alguns projetos, como reservatórios das usinas hidrelétricas, devido a sua vida útil, tornam-se significativas e não devem ser desconsideradas (CORTEZ, 2013).

Os indícios de erosão acelerada, antrópica ou induzida têm sido encontrados no começo da agricultura mesopotâmica (PABLO, 2013). A antiga Vila de Jarmo, no norte de Iraque, é considerada a primeira localidade a utilizar a agricultura 11.000 anos antes de Cristo. Esta vila estava localizada sobre um tablado de solo fértil, friável e facilmente arável. Pode-se destacar que a agricultura foi, inicialmente, praticada nos solos com pouca declividade nos fundos dos vales, onde a erosão potencial é baixa (PABLO, 2013). Contudo, o aumento da população elevou a demanda por alimentos, causando a expansão da agricultura e das zonas de pastoreio em direção às zonas mais altas do vale, que apresentam maior declividade e são, portanto, mais suscetíveis à erosão (PABLO, 2013).

A erosão acelerada é definida como aquela produzida, parcialmente ou totalmente, pelas ações antrópicas sobre o meio. Carvalho (2008) sugere que a erosão provocada por catástrofes, como terremotos, grandes enchentes e erupções vulcânicas também poderia ser enquadrada neste grupo, apesar de não ser de origem antrópica.

As principais causas dos processos de erosão acelerada estão no desmatamento e posterior uso do solo para atividades agrícolas e pastoris, a urbanização e a infraestrutura pela construção civil, além das atividades de mineração e construção de usinas hidrelétricas (MORRIS; FAN, 1998; GUERRA; VITTE, 2007). Essas atividades removem a cobertura vegetal e destroem a estrutura do solo e, juntamente com a concentração do escoamento, podem acelerar a erosão em 2 ou 3 ordens de magnitude em comparação a erosão geológica (MACARTHUR *et al.*, 2008).

É importante ressaltar que a erosão acelerada se apresenta sob condições ambientais

perturbadas, sendo as taxas de erosão incrementadas em várias ordens de magnitude. Normalmente, é resultado da atividade humana ao remover a cobertura vegetal e expor o solo aos agentes erosivos.

3.3 Efeito da Erosão do Solo

Os efeitos da erosão do solo podem ser intrínsecos (*in situ*) ou extrínsecos (*ex situ*). Os efeitos intrínsecos são: a perda de solo, a quebra da estrutura do solo, o declínio no conteúdo de matéria orgânica e de nutrientes que resultam na redução da profundidade agricultável e da fertilidade do solo, entre outros. Os efeitos extrínsecos da erosão do solo são: a diminuição da qualidade da água, o assoreamento de canais e reservatórios, podendo destruir hidrelétricas e projetos de irrigação (YOUNG *et al.*, 1986).

Os agentes erosivos removem *in situ* a camada superior do solo (horizonte A) e a matéria orgânica contida nele, deixando expostos os horizontes profundos. Estes têm menor capacidade de infiltração, facilitando o escoamento superficial. A menor infiltração e volume de retenção d'água modificam o balanço hídrico no perfil do solo, restringindo a água disponível para as plantas. Finalmente, diminui a fertilidade do solo, já que os nutrientes estão armazenados e reciclados nos horizontes superiores do solo. A remoção destas camadas por erosão diminui a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas (PRADO; VEIGA, 1994; TOY; FOSTER; RENARD, 2002).

Os problemas *ex situ* estão relacionados com o efeito dos sedimentos nas águas à jusante da usina hidrelétrica. O assoreamento de canais, reservatórios e obras de irrigação diminuem a capacidade de transporte, a vida útil e aumentam os custos de manutenção. O maior efeito negativo é o assoreamento de rios (tornando-os inavegáveis) e portos (necessitando de dragagem) (PERALTA, 1976). A erosão do solo também produz danos sobre infraestrutura de estradas, soterrando e cortando caminhos e pontes.

Os sedimentos gerados pela erosão, através de produtos químicos adsorvidos, podem aumentar os níveis de nitrogênio e de fósforo nos corpos d'água e resultar em eutrofização (PIMENTEL *et al.*, 1995; MORGAN, 2009). Sedimentos transportados alteram as características da paisagem, reduzem ou danificam o “habitat” dos animais selvagens, e causam perdas econômicas (BLANCO; LAL, 2008).

Os sedimentos transportados na água de irrigação devem ser eliminados para não obstruir o sistema de irrigação pressurizado, requerendo filtros. Os sedimentos também conferem turbidez à água potável, aumentando a frequência de substituição dos filtros,

encarecendo o tratamento de água (PERALTA, 1976). Os sedimentos também são um contaminante por sua composição e pelos elementos químicos que podem levar absorvidos aumentando os níveis de nitrogênio e de fósforo nas massas d'água, favorecendo, assim, sua eutrofização (MORGAN, 2009).

A deposição soterra solos e cultivos localizados nas zonas mais baixas. Estas deposições acarretam problemas de drenagem que impedem o normal escoamento das águas, aumentando o risco de enchentes. Os sedimentos em suspensão afetam o plâncton dos lagos e da margem costeira, com sua morte ou sua imigração, alterando a cadeia trófica (PABLO, 2013).

Outro efeito *in situ* da erosão do solo é a perda da paisagem, limitando o potencial turístico e cênico das zonas afetadas (PERALTA, 1976). Finalmente, a erosão do solo leva a quebra de agregados em suas partículas primárias, argila, areia e silte. A partir desse processo, o carbono que é mantido dentro dos agregados de argila e o conteúdo orgânico do solo são liberados para a atmosfera na forma de CO₂, contribuindo para as mudanças climáticas (MORGAN, 2009).

Os custos *in situ* da erosão do solo são assumidos pelo empreendedor, embora possam ser transferidos, em parte, à sociedade, em termos de perda de competitividade e preços mais altos dos alimentos, à medida que se produzem perdas de rendimentos ou abandono das terras de cultivo. O empreendedor não assume os custos *ex situ* da erosão do solo, que recaem sobre as autoridades locais, entidades governamentais, companhias seguradoras e proprietários dos terrenos afetados pela sedimentação e enchentes, os quais assumem as despesas pelo conserto e manutenção da infraestrutura danificada (MORGAN, 2009).

3.4 Classificação da Erosão do Solo

Os diferentes tipos de erosão do solo podem ser classificados com base nos principais agentes erosivos, sendo: o vento, a água e os organismos, sendo esses os principais deflagradores do processo erosivo em áreas de cultivo e nos trópicos. Enquanto que o gelo é um agente erosivo relevante em latitudes do extremo norte e em altitudes muito elevadas.

A erosão eólica ocorre, principalmente, em áreas com escassez de precipitação, associada à predominância de altas temperaturas, conforme Zachar (1982). Esse tipo de erosão pode afetar o solo, as rochas e minerais que estejam em contato com vento. Esses materiais são desgastados por partículas de solo carregadas pelo vento ou outro tipo de material sólido, configurando um processo abrasivo.

A erosão glacial, como foi mencionada por Zachar (1982), é predominante em regiões frias, com temperaturas abaixo de 0°C. Esse fenômeno se dá pela ação de uma grande massa de gelo que se move lentamente. Nesse caso, o solo é afetado apenas nas bordas da massa de gelo, onde surgem novos canais com um fluxo de água e gelo derretido. Em contrapartida, a erosão causada pela neve atua no solo através de canais formados por avalanches, onde a grande pressão e velocidade da neve arrastam o solo ao longo da encosta, levando à formação de sulcos.

A erosão hídrica contempla a destruição da superfície da terra pela ação das gotas de chuva, pela água fluvial, pela água subterrânea e por águas não fluviais (ZACHAR, 1982). De acordo com Gray e Sotir (1995), o fenômeno conhecido por *splash* é resultado do impacto direto das gotas da água da chuva nas partículas do solo ou em finas camadas que recobrem a superfície. Neste estudo, consideraremos apenas a erosão hídrica.

3.5 Tipos de Erosão Hídrica

A erosão do solo é classificada, segundo Almeida Filho e Rezente Júnior (2001), em dois tipos principais, conforme suas características e processos associados: erosão laminar e erosão linear (sulcos, ravinas, voçorocas). Neste estudo, será considerado apenas a erosão laminar.

3.5.1 Erosão Laminar

A erosão laminar, superficial ou entressulcos constitui a fase inicial da erosão hídrica e se destaca pela ação desagregadora do impacto das gotas de chuva (ARAGÃO *et al.*, 2011, COSTA 2013), com a força do deslocamento superficial, que transporta as partículas ou agregados do maciço, devido ao impacto das gotas de chuva com o solo (DECROIX *et al.*, 2008; PITTELKOW, 2013).

A erosão laminar pode ser de difícil percepção, devido ao fluxo laminar ser lento, insidioso e grave, pois ocorre de forma quase imperceptível a curto e médio prazo, e, não sendo observada em sua fase inicial, pode ocasionar prejuízos e até conduzir a área aos outros tipos de erosão (FREZEL, 1980; CASSETI, 2005).

Trata-se, portanto, de uma das formas mais danosas, pois remove a camada mais superficial do solo, onde se encontram a matéria orgânica, os nutrientes e os insumos

agrícolas, que favorecem a produção agrícola, alterando também as condições para ocorrência dos processos microbianos que se refletem na fertilidade do solo pela decomposição do material orgânico, disponibilizando os nutrientes para as plantas (CANTALICE, 2002). A forma contínua com que ocorre o processo erosivo laminar, sem a presença de estrias e marcas no terreno, o torna grandioso, do ponto de vista da quantidade de massa de terra erodida (PITTELKOW, 2013).

A remoção de uma fina camada superficial, percebida pela exposição de raízes das plantas e assoreamento de cursos d'água, reservatórios a áreas à jusante, além de poder ser percebida pela coloração do solo decido a perda de elementos químicos; sulcos (PITTELKOW, 2013).

3.6 Processo Erosivo

O processo erosivo é um fenômeno que existe há milhões de anos (erosão geológica ou natural). Isso é, antecede ao aparecimento do homem na Terra e tem participação essencial na formação do modelado da superfície terrestre, dos solos aluviais e das rochas sedimentares (WEILL; PIRES NETO, 2007).

De maneira geral, sob condições naturais, os processos de erosão geológica ou natural atuam equilibradamente, havendo certa equivalência entre a quantidade do solo erodida e a quantidade produzida (CARVALHO, 2006). O autor supracitado releva que quando se dá o rompimento, devido à interferência do homem, não é permitido ao solo à recuperação natural, dá-se, então, origem à erosão acelerada ou erosão antrópica. Na erosão antrópica, o homem interfere nos fatores relacionados à erosão natural, acelerando o processo e, muitas vezes, impedindo a recuperação natural da área impactada, causando enormes prejuízos financeiros (CARNEIRO, 2007). Surge, nos dias atuais, como uma variância da erosão antrópica, aquela oriunda das variabilidades climáticas propiciadas pelas atividades não ligadas diretamente à ocupação e ao uso do solo.

A dinâmica dos processos erosivos está intimamente ligada à própria dinâmica de variáveis causais, como: clima e uso do solo. Essa complexidade pode ser percebida à medida que se relaciona o clima ao uso do solo. Grande parte dos processos erosivos ocorre de modo direto e previsível, como consequência da intervenção antrópica no meio ambiente. São exemplos dessa aplicação no meio rural o plantio e manejo do solo de modo inapropriado, como a não observância de práticas conservacionistas vegetativas e edáficas, e o desmatamento de matas ciliares. Em meio urbano, têm-se práticas impróprias com a

impermeabilização superficial excessiva através da concentração de fluxos e lançamento indevidos das drenagens de águas pluviais (CARVALHO *et al.*, 2001; CARVALHO, 2006).

As principais fases que envolvem o processo erosivo se iniciam no desprendimento de partículas individuais do solo e seu transporte pelos agentes erosivos. Quando a energia destes agentes não é suficiente para transportar as partículas, se produz sua deposição (MORGAN, 2009).

O início do processo erosivo do solo preconizado por Guerra *et al* (2009) e Lombardi Neto (2014) é dado pela ação do efeito *Splash* (também conhecido, na literatura brasileira, como salpicamento). Segundo Araujo *et al* (2013), esse efeito consiste no desprendimento de partículas do solo devido o impacto direto da gota de chuva com o solo exposto ou coberto por uma fina lâmina de água. Carvalho (2008) complementa mencionando que o impacto gerado pela gota da chuva afeta, inicialmente, a estrutura superficial do solo exposto, facilitando o desprendimento das partículas que serão transportadas pelo escoamento superficial.

Para Guerra *et al* (2009) e Pittelkow (2013), o efeito *Splash* prepara as partículas do solo para o transporte superficial, rompendo os agregados em tamanhos menores e salpicando estes em diferentes direções e distâncias e serão carregadas pelo lençol freático. O salpicamento dessas partículas finas ocasionará o preenchimento dos poros superficiais, compactando a superfície do terreno, reduzindo a capacidade de infiltração da água e, conseqüentemente, promovendo um escoamento superficial difuso, selamento da superfície que dificultará infiltração da água no solo (CARDOSO *et al.*, 2004; GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009).

O efeito *Splash* é potencializado, pela remoção da cobertura vegetal, que seria a proteção natural dos solos contra a erosão. Sem essa cobertura vegetal, as águas pluviais tendem a atingir o solo com grande energia cinética, ou seja, atingem altas velocidades, suficientes para desagregar/soltar partículas do solo (FUSHIMI, 2012). A energia cinética das gotas de chuva é diretamente proporcional à intensidade da chuva, uma vez que maiores intensidades têm pingos com maior diâmetro e velocidade. Além da intensidade da chuva, a lâmina d'água total do evento também é preponderante para a ocorrência da erosão do solo (MARTINS FILHO, 2014).

Após a fase inicial de desagregação do solo e a conseqüente diminuição da infiltração, a água da chuva se infiltra até que a sua intensidade supere a capacidade de infiltração do solo, o que acarreta no empocamento da água em pequenas depressões do terreno (CONCEIÇÃO, 2014). A continuidade da chuva desencadeia, então, o processo de escoamento superficial no sentido do declive.

O escoamento superficial transporta o material particulado do solo, e sua capacidade

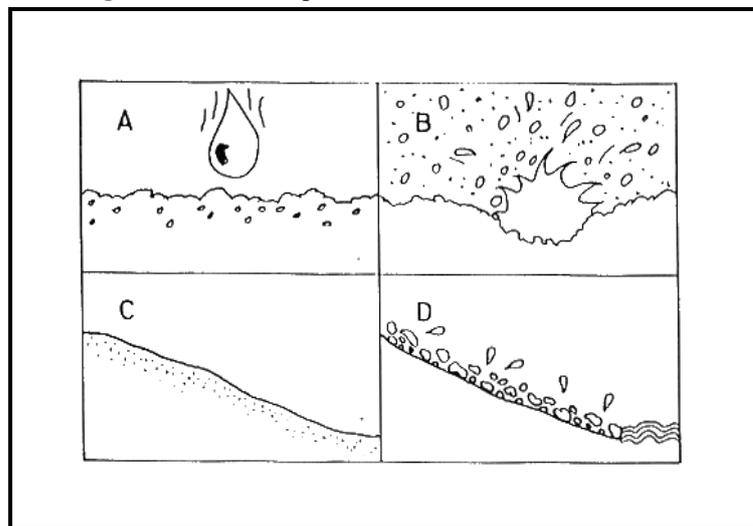
de transporte é aumentada pela continuidade do impacto das gotas de chuva, que aumentam a turbulência do escoamento. O aumento da turbulência confere um potencial erosivo ao escoamento, que irá desagregar mais material, formando sulcos no solo. O aumento do fluxo concentrado também irá aumentar o potencial de desagregação, dando continuidade ao processo (CARVALHO *et al.*, 1990).

Após o transporte de sedimentos, ocorre a deposição do material, quando a quantidade de material desagregado excede a capacidade de transporte do fluxo. A capacidade de transporte depende da quantidade do fluxo de água, da sua turbulência e da declividade do terreno. Os materiais transportados irão se depositar de acordo com a sua densidade, ou seja, materiais mais pesados depositam primeiro e os materiais mais finos, como argila e matéria orgânica, por último (FENDRICH *et al.*, 1997).

A erosão não é a mesma em todos os solos, as propriedades físicas, principalmente a textura, a permeabilidade, a densidade do solo e a porosidade exercem diferentes influências na resistência do solo à erosão (SILVA *et al.*, 2007). Além disso, dentre os fatores do solo que mais interferem no processo erosivo estão os ligados à declividade, à distância percorrida pelo escoamento superficial, à rugosidade superficial, à resistência do solo à ação erosiva da chuva e ao percentual de cobertura vegetal existente na ocasião do evento de precipitação (PEREIRA *et al.*, 2003).

A seguir, são mostradas as fases do processo erosivo (Figura 1), sendo: A: impacto da gota de chuva; B: fase de desagregação do solo; C: fase de transporte do solo e D: fase de deposição de sedimento.

Figura 1 – Fases do processo de erosão hídrica do solo.



Fonte: Derpsch *et al* (1991).

Algumas propriedades dos solos, como o teor de matéria orgânica, textura, densidade, porosidade e estrutura, bem como características das encostas, da cobertura vegetal, da erosividade da chuva e do uso da terra, interferem direta ou indiretamente na quebra dos agregados. A tendência é que essas partículas preencham os poros do solo, causando a selagem e a redução da porosidade, eventos que reduzem as taxas de infiltração (FUSHIMI, 2012).

A cobertura sobre o solo é de grande importância na prevenção e no controle dos processos erosivos. Sendo um fator que está intimamente ligado a atividades antrópicas, as quais explicam o modo pelo qual vem sendo manejado o solo de uma área (SILVA *et al.*, 2007).

De acordo com Silva *et al* (2007), quanto mais densa for a cobertura vegetal sobre as vertentes das bacias hidrográficas, mais os solos estarão protegidos da ação erosiva das chuvas e menores serão as perdas de solo e água, principalmente nas regiões tropicais. Ainda de acordo com os mesmos, a presença da cobertura vegetal dos solos proporciona diminuição do escoamento superficial e redução da capacidade de transporte de agregados, evitando o processo de selamento superficial devido ao menor impacto das gotas de chuva e ao aumento da taxa de infiltração de água no solo, sendo de grande importância a manutenção da cobertura vegetal.

O manejo inadequado do solo e a erosão hídrica são apontados por Martins *et al* (2003) como os principais causadores da constante redução da produtividade dos solos, destacando, ainda, outro aspecto de grande relevância, que é o fato de que o aporte de sedimentos oriundos de áreas que sofrem erosão promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática, principalmente pela eutrofização das águas.

3.6.1 Erosividade e Erodibilidade

A erosividade da chuva e a erodibilidade do solo são dois importantes fatores físicos que afetam a magnitude da erosão do solo. Mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais suscetíveis ao desagregamento e ao transporte de partículas pelos agentes de erosão que outros. Essa diferença, devido às propriedades do solo, é conhecida como erodibilidade.

Já a erosividade trata-se da capacidade dos agentes erosivos (água e vento) causar

erosão do solo. Várias são as características da chuva que determinam a erosividade, porém três delas destacam-se no estudo do processo erosivo: intensidade, duração e frequência (CAMAPUM DE CARVALHO *et al.*, 2006; CASSOL *et al.*, 2007). A quantificação destes fatores é importante na previsão da erosão e no planejamento do uso do solo. Entretanto, a erodibilidade dos solos tem sido o fator de maior interesse geotécnico.

A erodibilidade do solo é definida como a falta de capacidade de resistir aos processos erosivos e depende não só das características intrínsecas do solo, mas também de fatores subsidiários, como ciclos de umedecimentos e secagem, além da composição química da água presente (VILAR; PRANDI, 1993). Desta feita, a forma mais comum de se analisar a erodibilidade dos solos tem sido através de suas características físicas e químicas e de alguns condicionantes externos.

Bastos *et al* (1998) trata a erodibilidade como a propriedade que retrata a facilidade com que partículas do solo são destacadas e transportadas, e para a qual é pertinente o uso de métodos adequados que a caracterizam para fins de engenharia. De acordo com Freire (2001), a erodibilidade é uma propriedade do solo que reflete a sua maior ou menor susceptibilidade a erosão e também é definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área.

Segundo Pittelkow (2013), a erodibilidade é o elemento passivo, referindo-se ao quão susceptível o solo é ou não à ação de agentes erosivos. Complementando esses dois elementos, tem-se a interferência de fatores moduladores que podem facilitar ou dificultar o surgimento e/ou agravamento de processos erosivos.

A erodibilidade dos solos depende praticamente da capacidade de desagregação e transporte de suas partículas. Portanto, pode ser entendida como um dos principais fatores condicionantes de processos erosivos e, desta forma, a execução de ensaios que avaliam a erodibilidade pode fornecer importantes subsídios para a caracterização dos mecanismos atuantes nos processos erosivos (PITTELKOW, 2013).

De acordo com o autor abaixo, a tendência à alta e baixa erodibilidade dos solos se dá da seguinte forma:

De maneira geral, solos arenosos, embora apresentem alta permeabilidade, são mais susceptíveis à erosão, sendo considerados solos de alta erodibilidade, pois as partículas de areia são facilmente desagregadas pela chuva. Já solos argilosos, quando apresentam boa permeabilidade, resistem mais à erosão, sendo considerados de baixa erodibilidade. A fertilidade de um solo também influi na sua resistência à erosão: solos naturalmente férteis [...] propiciam um melhor desenvolvimento de plantas [...] protegendo-o da erosão. (SÁ, 2014, p. 1).

A natureza do solo influi de forma direta na sua susceptibilidade a sofrer maior ou

menor ação erosiva. A infiltração de água no solo depende do tamanho das partículas que o constitui e da disposição dos espaços porosos.

Em geral, espera-se que solos arenosos possuam maior velocidade de infiltração em relação aos argilosos, reforçando tal ideia, temos Bigarella (2003) e Camapum de Carvalho *et al* (2006). Conforme os autores, quando o material coloidal do solo (característica dos argilosos) apresenta grande expansão quando saturado, diminui o espaço poroso e diminui a infiltração. Já quando as partículas finas do solo se agregam, o espaço poroso aumenta e, conseqüentemente, a infiltração também tende a aumentar.

Bertoni e Lombardi Neto (2014) apontam os solos arenosos mais vulneráveis à erosão, visto que partículas com menor quantidade de partículas no tamanho da argila tendem a ter baixa coesão, tendo pouca resistência aos processos erosivos, mesmo em pequenas precipitações e escoamentos superficiais (enxurradas).

3.7 Perda de Solo

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) revela que 33% dos solos do mundo estão degradados (FAO; ITPS, 2015). Erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação estão entre os principais problemas. Entre outros prejuízos, como selamento da terra – que agrava as enchentes – e perda de fertilidade, os solos degradados captam menos carbono da atmosfera, interferindo nas mudanças climáticas.

A perda de solo por erosão elimina 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a produtividade das culturas e capacidade de armazenar carbono, nutrientes e água. Na América Latina o cenário também é preocupante. "Cerca de 50% dos solos latino americanos estão sofrendo algum tipo de degradação. No Brasil, os principais problemas encontrados são erosão, perda de carbono orgânico, e desequilíbrio de nutrientes", conforme Embrapa (2015).

A partir da década de 1960, muitos autores têm intensificado os estudos propondo modelos matemáticos para avaliação a perda de solo e da quantidade de sedimentos produzidos em uma dada área, em várias escalas de abordagem (YU *et al.*, 1999).

O modelo mais conhecido e utilizado na estimativa a perda de erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida no National Runoff and Soil Loss Data Center (Purdue University, Estados Unidos) em 1954 e sistematizada por Wischmeier e Smith (1978), cujas variáveis são: a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, o comprimento de rampa e declividade do terreno, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas

empregadas. Este modelo foi revisado por Renard *et al.* (1997), que aperfeiçoaram os métodos de determinação de seus fatores, constituindo a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). No Brasil, a aplicação do modelo de pinos de erosão, com característica de ser de baixo custo e simples manejo, é utilizado para o manejo de processos erosivos em área sem presença humana e de animais, como mostram os trabalhos de Bertoni; Lombardi Neto (2014) e Guerra (2005).

3.8 Transferência do Solo Erodido para os Reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE'S)

Os reservatórios das usinas hidrelétricas (UHE's) são corpos de água importantes não só para a produção de energia elétrica, mas também para o uso compartilhado ou usos múltiplos, atendendo a outras necessidades básicas da população, como: abastecimento, recreação e lazer, pesca comercial e controle de inundações, entre outros (ANEEL, 2000).

Os reservatórios das UHE's podem apresentar propensões à formação de processos erosivos que acarretam a deposição de sedimentos e, por sua vez, o assoreamento do reservatório, com diminuição da área do espelho de água e do seu volume como um todo, o que impacta, de forma negativa, o potencial de geração de energia elétrica com consequente redução da vida útil do empreendimento de geração de energia (ALMEIDA *et al.*, 2013).

Os autores supracitados ainda relatam que os processos erosivos nesses reservatórios das UHE são influenciados pela morfometria pluvial, geologia local e potencializados pela ação antrópica, entre outros fatores.

A influência antrópica no uso do solo potencializa os processos erosivos presentes nas bacias hidrográficas contribuintes, principalmente pela remoção da cobertura vegetal presente nessas bacias para práticas de agricultura mecanizada, de atividades pecuárias e de expansão urbana (ALMEIDA *et al.*, 2013). Tal cobertura serviria como anteparo natural do solo à precipitação da chuva, o que evitaria a sua desagregação e o carreamento de sedimentos pelos cursos d'água fluviais (ALMEIDA *et al.*, 2013).

A quantificação das perdas de solo é de fundamental importância na adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo, uma vez que o uso e a ocupação do solo, juntamente com as características topográficas e climáticas, irão determinar o balanço sedimentar da bacia hidrográfica (MARTINS *et al.*, 2003).

Os sedimentos são o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros

poluentes (BROOKS *et al.*, 1991).

Os sedimentos que passam pela barragem (vertedores e turbinas) podem provocar desgastes nas estruturas, comportas, turbinas e outras peças importantes da usina hidrelétrica, gerando aumento nos custos de manutenção e operação. Além disso, podem ocorrer danos ecológicos ao ecossistema artificial em equilíbrio (cadeia alimentar) (CUNHA, 2013). Normalmente, tais situações podem provocar danos materiais e comprometer a geração de energia elétrica, elevando a frequência de procedimentos de manutenção ou ações de controle ambiental, por exemplo.

De forma geral, nas porções altas, ou seja, na montante do reservatório, há maior erosão do solo e transporte de sedimentos. Na parte baixa, ou seja, na jusante do reservatório, há muita formação de colúvios, tendo-os como a maior parte dos sedimentos erodidos distribuídos nos terrenos. A degradação dos solos predomina na parte alta da bacia, enquanto a agradação predomina na parte baixa (CARVALHO, 2008).

De acordo com Bordas e Semmelmann (2001), os processos que regem o deslocamento de partículas sólidas constituem o ciclo hidrossedimentológico. Esses processos são: desagregação, separação, transporte, decantação ou sedimentação, depósito e consolidação.

A desagregação refere-se ao desprendimento de partículas sólidas do solo causada pelo impacto da gota de chuva sobre o solo, sendo esse processo, após a ação antrópica, o que mais contribui para a desagregação do solo (COSTA, 2013). Após a desagregação das partículas do solo, essas ficam expostas à ação do escoamento superficial das águas de chuva que não se infiltraram no solo. A esse processo de deslocamento das partículas sólidas da superfície do solo denominamos erosão (COSTA, 2013). O autor destaca que o processo de transporte de partículas do material erodido pela água pode se dar de várias maneiras: as partículas mais pesadas se deslocam sobre o fundo por rolamento ou deslizamento, já as mais leves se deslocam em suspensão.

A sedimentação é o processo pelo qual as partículas mais finas transportadas em suspensão tendem a restabelecer contato com o fundo do leito pelo efeito da gravidade. Designa-se por depósito a parada total da partícula em suspensão recém-decantada sobre o fundo ou daquela transportada por arraste (COSTA, 2013). A consolidação segue-se ao depósito das partículas e designa o acúmulo de partículas sobre o fundo e a compactação do depósito resultante sob efeito do próprio peso dos sedimentos.

A deposição é a última fase do processo erosivo, que consiste na agradação do material que foi desagregado e transportado, isso ocorre quando a quantidade de sedimentos contida no escoamento superficial é maior que sua capacidade de transporte (PRUSKI, 2010).

Para Tonello (2005), os reservatórios das UHE's constituem um recurso peculiar não somente pela sua amplitude de utilização, mas também por ser um excelente indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem, visto que ele atua como agente passivo frente aos acontecimentos que ocorrem à montante.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Este estudo foi realizado no período de junho de 2013 à setembro de 2015, em áreas próximas ao reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga (antiga Itaparica). A usina localizada nas coordenadas geográficas 9° 08' 37" S e 38° 18' 43", na bacia do rio São Francisco, região fisiográfica de Submédio São Francisco e a 25 km a jusante da cidade de Petrolândia, no Estado de Pernambuco.

Nos anos 80, a rede de transmissão da Chesf foi integrada à da Eletronorte, que também integrou ao Sistema Eletrobrás. Em 1988, entrou em operação a UHE Luiz Gonzaga (PE), foi assim batizada em homenagem ao “rei do baião nordestino”, de mesmo nome, com o intento de aproveitar as águas do Rio São Francisco para a geração de energia. A unidade foi instalada a 50 quilômetros do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso, acumulando assim a função de regularizar as vazões afluentes diárias e semanais daquelas usinas (CHESF, 2011). O represamento é feito por uma barragem de seção mista terra-enrocamento e, na casa de forma, seis turbinas geradoras acumulam a potência de 1.479.600 quilowatts. A energia gerada é transmitida por uma subestação elevadora com nove transformadores que aumentam a tensão de 16 quilovolts para 500 quilovolts (CHESF, 2011).

A altitude da bacia na região varia de 200 a 800 metros e caracteriza-se por uma topografia ondulada, com vales muito abertos devido a menor resistência à erosão dos xistos e outras rochas de baixo grau de metamorfismo, das quais sobressaem formas abauladas esculpidas em rochas graníticas, gnáissicas e outros tipos de alto metamorfismo. Na extremidade oeste da fronteira norte, tem-se a Chapada Cretácea do Araripe, com altitude de 800 metros, que se prolonga para leste através da Serra dos Cariris, esculpida em rochas graníticas e gnáissicas de idade pré-cambriana. Do lado sul, ressalta-se as formas tabulares do Raso da Catarina, esculpidas em sedimentos da Bacia de Tucano, com altitude de 200 a 300 metros (CHESF, 2013).

O reservatório da usina apresenta ocupações urbanas e áreas agrícolas em suas margens, sendo a agropecuária a atividade produtiva predominante da bacia. São observadas, na região, atividades de pecuária extensiva, predominantemente, caprinocultura e bovinocultura de leite e corte em pequena escala. As atividades agrícolas estão relacionadas à agricultura irrigada, representadas principalmente pelos projetos de irrigação implantados às margens do reservatório (CHESF, 2013).

4.1 Geomorfologia

A região estudada está inserida no domínio morfoestrutural de bacia sedimentar, representado pela região do Planalto da Bacia Tucano-Jatobá, onde as condições litoestruturais e climáticas interferem na drenagem, cujos tributários são predominantemente intermitentes (CHESF, 2013).

A unidade geomorfológica dessa região corresponde às Chapadas de Serra Talhada, constituídas por rochas cretácicas, com destaque para os arenitos e conglomerados, além de folhelhos e argilitos da Formação Marizal e Tacaratu. Esta unidade caracteriza-se por feições planas conservadas, relacionadas à horizontalidade das camadas, exemplificando os efeitos das ações tectônicas posteriores à sedimentação (CHESF, 2013).

O relevo é fracamente dissecado, associado a uma cobertura predominantemente arenosa e, sob os efeitos do clima semiárido e das pressões da intervenção antrópica, acentuam as condições de fragilidade dessas áreas e alteram significativamente o ecossistema (CHESF, 2013).

Quanto aos aspectos geológicos, a região está localizada dentro da bacia sedimentar de Jatobá, que ocupa uma extensão de aproximadamente 5.000 km², entre os Estados de Bahia e Pernambuco. Seus limites são dados pela falha de Ibimirim, a norte; pela falha de São Francisco, que a separa da sub-bacia de Tucano Norte, a oeste; e pela borda flexural, nas demais direções (CHESF, 2013).

Esta bacia sedimentar representa a porção mais setentrional do *rift* Recôncavo-Tucano-Jatobá, que constitui um ramo abortado do rifteamento sul-atlântico, estabelecido durante o Eocretáceo, e do qual fazem parte os demais *rifts* intracontinentais estabelecidos ao longo da plataforma brasileira no mesmo período. Tem sua origem relacionada a uma série de fenômenos termo-mecânicos, tais como estiramento crustal e cisalhamento, que lhes imprimiram feições características, tendo como unidade fundamental o *semi-graben*, cuja assimetria é gerada por uma falha de borda que condiciona o mergulho geral da bacia (RADAMBRASIL, 1983).

Zonas de acomodação ou de transferência seccionam transversalmente o sistema *rift* Recôncavo-Tucano-Jatobá, tendo permitido a formação de sub-bacias com características estruturais e sedimentológicas próprias (RADAMBRASIL, 1983). Dentre seus principais elementos estruturais, destacamos:

- a) Falha de São Francisco: feição estrutural de direção geral N-S, que atuou como divisor da sedimentação entre as bacias de Jatobá e Tucano Norte, e onde se observam feições compressivas;
- b) *Horst* de Icó: alto estrutural de forma alongada, disposto paralelamente ao eixo da bacia e limitado, a sul, pela falha de Itacoatiara; suas dimensões são de aproximadamente 420 km², sendo que em sua porção mais ocidental, afloram sedimentos paleozóicos e neojurássicos (Grupo Brotas);
- c) Falha de Ibimirim: relacionada à reativação eocretácea do Lineamento de Pernambuco, corresponde à falha de borda da bacia de Jatobá, definindo o limite setentrional desta bacia; seu depocentro (Baixo de Ibimirim) compreende uma área de aproximadamente 360 km² e profundidade superior a 3000 m.

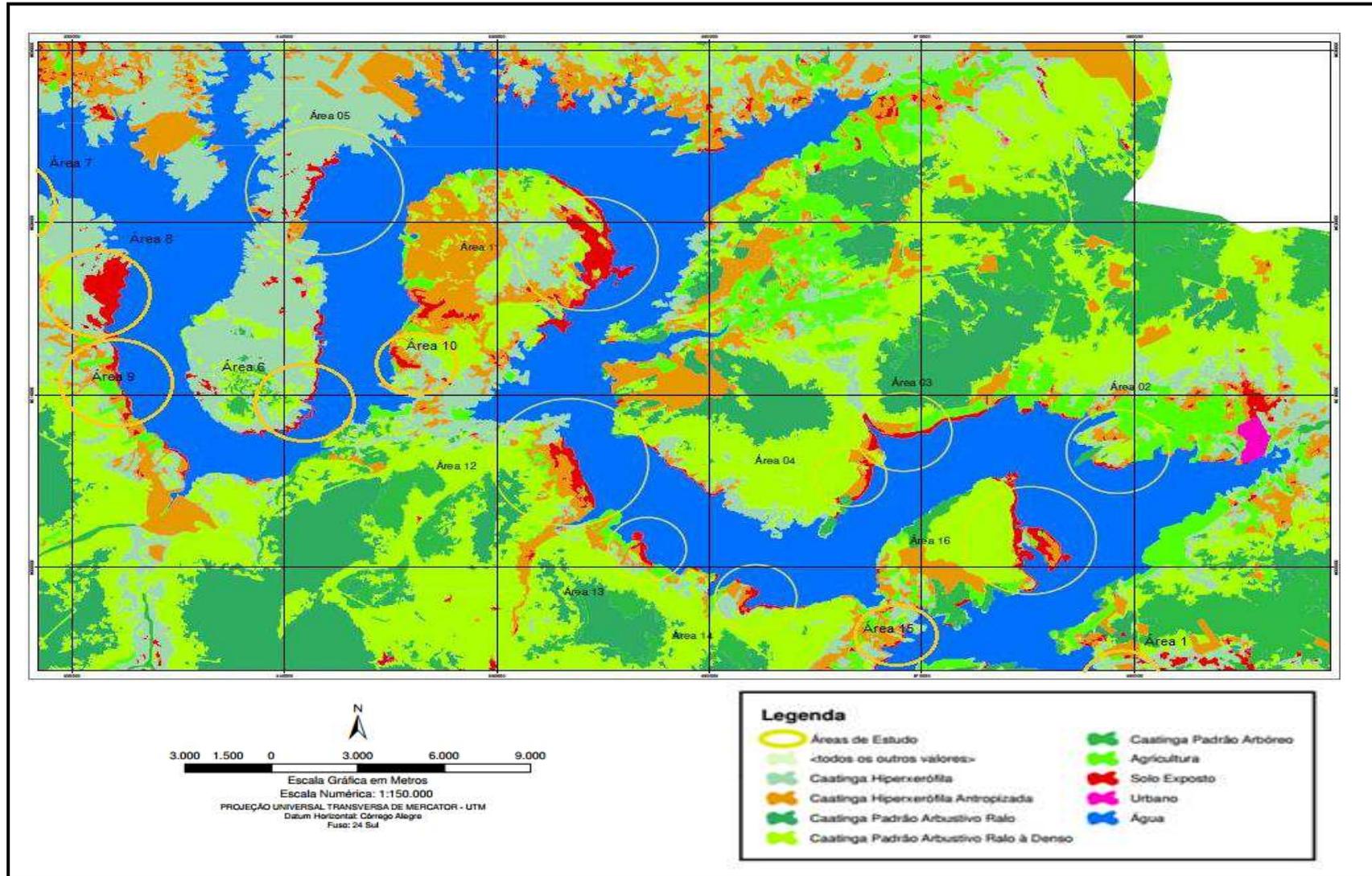
As principais características das formações geológicas identificadas na região estudada foram:

- a) a formação Marizal, constituinte do Supergrupo Bahia, inferido ao Mesozóico/ Cretáceo, e que apresenta na base, marcando uma superfície de discordância, conglomerados grosseiros, com clastos de litotipos variados, expondo seixos arredondados de gnaisses e quartzitos (RADAMBRASIL, 1983);
- b) os conglomerados, que são rochas sedimentares clásticas, compostas por fragmentos com mais de 2 mm de diâmetro (cascalhos, seixos, matacões), misturados em maior ou menor quantidade com matriz arenosa e/ou mais fina, sílica e/ou argilosa e cimentada por sílica e/ou por argila ressecada (RADAMBRASIL, 1983);
- c) os fragmentos grosseiros podem ser arredondados ou até bem angulosos. Posteriormente a esses conglomerados, estão arenitos amarelos, com pontuações esbranquiçadas, ou arenitos marrons, com pontuações amareladas. Estes arenitos são de grãos médios e grossos e tendem a se modificar verticalmente para arenitos conglomeráticos, com abundantes seixos arredondados de quartzo (RADAMBRASIL, 1983);
- d) a formação Tacaratu apresenta características paleozóicas com idade inferida ao Silurodevoniano. Esta formação geológica está assente sobre rochas gnássicas e migmatíticas, relacionadas ao embasamento da região (RADAMBRASIL, 1983). A composição litológica compreende, exclusivamente, arenitos e conglomerados, sendo dominantes os quartzos-arenitos sobre os litoarenitos e arcóseos. Na base, são comuns os conglomerados de seixos de quartzo. Na parte mediana, são encontrados entre os quartzos-arenitos, conglomerados médios e grosseiros.

4.2 Vegetação

O bioma característico é a Caatinga, com vegetação xerófila, de ecótipos e de florista variada. As análises com o uso de imagem Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM), do satélite Landsat 7, obtidas em julho de 2001, com composição RGB e bandas 543, definiram nove classes de uso e ocupação das áreas do entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga: água, solo exposto, caatinga hiperxerófila, caatinga hiperxerófila antropizada, caatinga padrão arbustiva rala, caatinga padrão rala e densa, caatinga padrão arbórea, agricultura e urbana (CHESF, 2013). O mapa de uso e ocupação do solo das áreas estudadas apresenta as classes de vegetação e os pontos de coleta das amostras do solo e foi elaborado com o auxílio do software ENVI 3.5, por meio do paralelepípedo (JEASEN, 2005) (Figura 2).

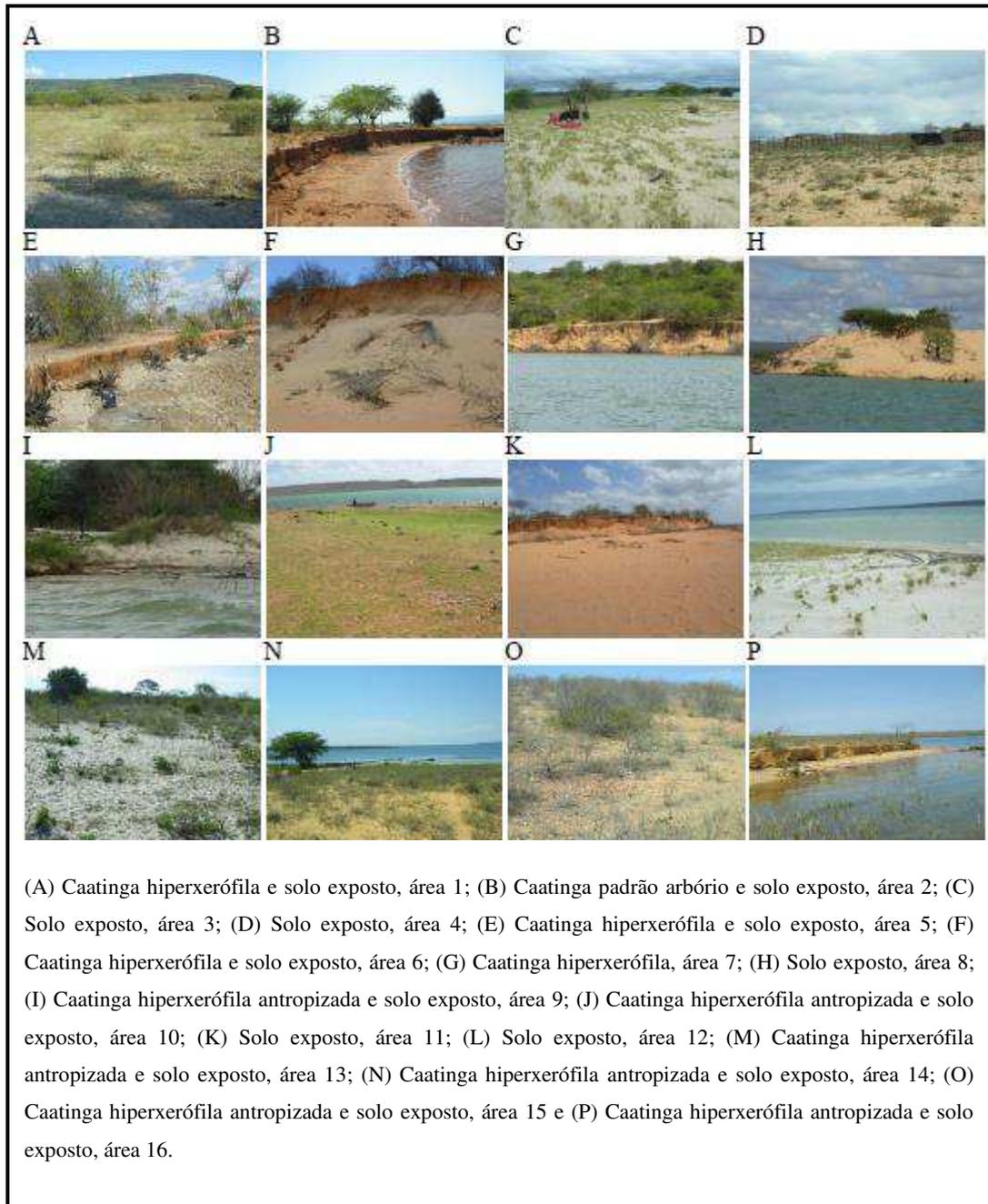
Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo das áreas estudadas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: Autor (2015).

A vegetação nativa, conforme uso e ocupação das áreas, caracterizou-se por solo exposto (A3, A4, A8, A11 e A12); caatinga hiperxerófila (A7); caatinga hiperxerófila e solo exposto (A1, A5, A6); caatinga hiperxerófila antropizada e solo exposto (A9, A10, A13, A14, A15 e A16) e Caatinga padrão arbóreo (A2) (Figura 3).

Figura 3 – Vegetação nativa das áreas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE, conforme uso e ocupação.



Fonte: CHESF (2013).

4.3 Clima

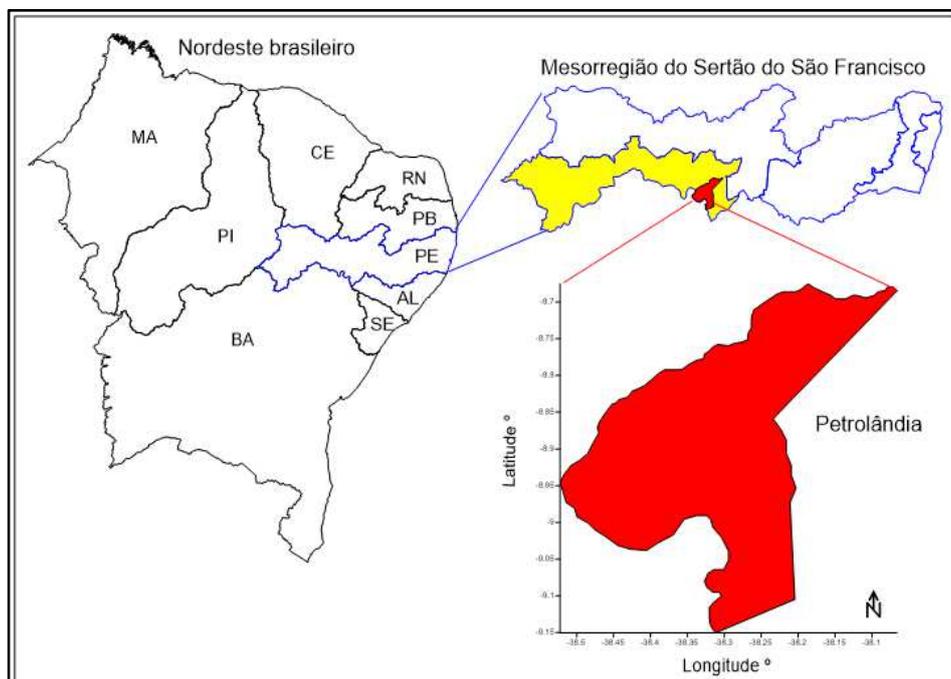
O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo BSh, caracterizando-se por ser seco e quente. A precipitação média anual chega a 450 mm e a temperatura média anual é de 27 °C. A evaporação é da ordem de 1400 mm anuais e o clima é tipicamente semiárido, com duas estações sazonais definidas (CHESF, 2013). A estação chuvosa está concentrada principalmente nos meses de Maio, Junho e Julho, enquanto que a época mais seca concentra-se no período entre os meses Setembro e Novembro. A reduzida pluviosidade, elevada e intensa radiação solar e altas temperaturas médias resultam em déficit hídrico durante todo o ano (CHESF, 2013).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Seleção das Áreas de Estudo

Foram selecionadas 16 (dezesesseis) áreas experimentais do estudo de mapeamento e monitoramento dos processos erosivos nas encostas do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.

Figura 4 – Mapa de geográfico da localização da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE.



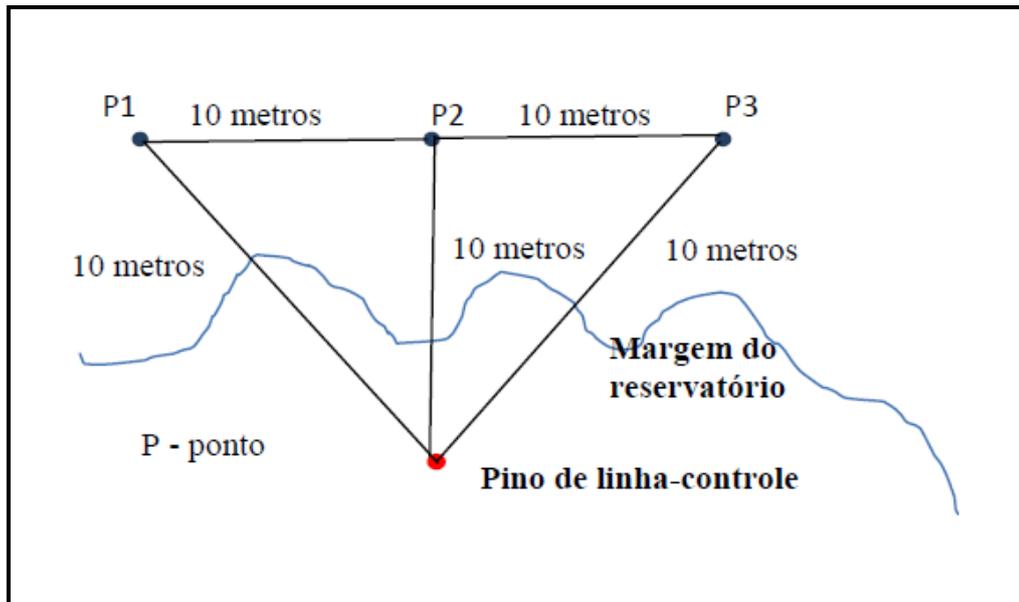
5.2 Coleta das Amostras de Solo

A coleta das amostras de solo para as análises físico-químicas, conforme Lemos e Santos (1996), tomando-se três amostras por área.

5.3 Coleta das Amostras de Sedimentos

A coleta das amostras dos sedimentos do fundo do reservatório para as análises físicas foi realizada em três pontos: P1, P2 e P3, conforme Lemos e Santos (1996). Esses pontos foram localizados a 10 (dez) metros da extensão da área marginal erodida e entre si, sendo realizadas quatro campanhas de coletas das amostras dos sedimentos (Figura 4).

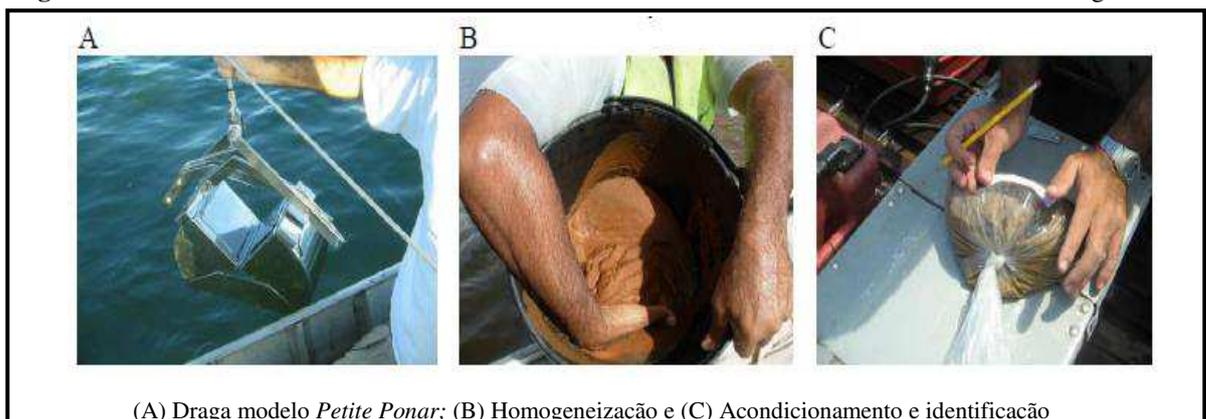
Figura 5 – Coleta das amostras dos sedimentos do fundo do reservatório.



Fonte: Autor (2015).

As amostras foram coletadas por meio de uma draga modelo *Petite Ponar*, com sistema de desarme tipo alavanca e capacidade de coleta de 4 litros. Em seguida, as amostras dos sedimentos dos P1, P2 e P3 foram homogeneizadas, acondicionadas em saco plástico, identificadas e enviadas para análise no laboratório AGROLAB – Análises Ambientais, localizado na cidade do Recife – PE (Figura 5).

Figura 6 – Coleta das amostras dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE.



(A) Draga modelo *Petite Ponar*; (B) Homogeneização e (C) Acondicionamento e identificação

Fonte: CHESF (2013).

As coordenadas em UTM dos pontos de coletas dos sedimentos foram obtidas por meio de equipamento receptor *Global Positioning System* (GPS), modelo Garmim E-Trex Vista (Figura 6) (Tabela 1). Utilizou-se embarcação tipo voadeira, com motor Yamaha de 40 HP, com capacidade para nove pessoas, para auxiliar nos deslocamentos dentro do

reservatório e das coletas de amostras solo e de sedimentos (Figura 7).

Figura 7– Equipamento receptor utilizado para obter as coordenadas em UTM dos pontos de coletas das amostras dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: CHESF (2013).

Figura 8 – Barco tipo voadeira utilizado para deslocamentos e coletas das amostras de solos e sedimentos das áreas estudadas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: CHESF (2013).

Tabela 1 – Localização dos pontos de coleta das amostras dos sedimentos, no reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.

Área	Amostras	Campanhas de Coletas das Amostras dos Sedimentos			
		1	2	3	4
		Setembro/2013	Março 2014	Setembro 2014	Março 2015
1	P1	0579339 – 8992781	578858 – 8992554		
	P2	0579403 – 8992455	579558 – 8992616	579281 – 8992366	579548 – 8992469
	P3	0579450 – 8992797	579133 – 8992289		
2	P1	0579054 – 9005663	578745 – 9005850		
	P2	0579250 – 9005665	578076 – 9006148	579050 – 9005784	579097 – 9005839
	P3	0578887 – 9005656	579421 – 9005836		
3	P1	0571926 – 9008524	571694 – 9008627		
	P2	0571270 – 9008481	567848 – 9007458	567793 – 9007272	571779 – 9008690
	P3	0572427 – 9008721	575674 – 9009435		
4	P1	0567837 – 9007252	567304 – 9004427		
	P2	0568125 – 9006799	566041 – 9002996	566459 – 9003650	579548 – 8992469
	P3	0567822 – 9007507	567722 – 9006135		
5	P1	0541370 – 9022169	541825 – 9022680		
	P2	0541035 – 9020920	541540 – 9018713	540922 – 9019317	579097 – 9005839
	P3	0541810 – 9022879	544487 – 9024787		
6	P1	0541579 – 9010342	540592 – 9008070		
	P2	0541368 – 9008923	535355 – 9011347	539472 – 9007816	571779 – 9008690
	P3	0541638 – 9013230	541802 – 9014562		
7	P1	0522523 – 9027422	522508 – 9027423		
	P2	0521976 – 9027959	522071 – 9027907	522730 – 9027063	579548 – 8992469
	P3	0522965 – 9026905	523072 – 9026732		
8	P1	0532425 – 9015787	532220 – 9015789		
	P2	0532735 – 9016986	532597 – 9017263	532309 – 9016104	579097 – 9005839
	P3	0531921 – 9014077	531898 – 9014381		
9	P1	0532212 – 9011907	532344 – 9010301		
	P2	0532233 – 9012333	532113 – 9012526	532042 – 9012685	571779 – 9008690
	P3	0532116 – 9011509	545425 – 9010772		
10	P1	0545257 – 9010806	545315 – 9011453		
	P2	0545409 – 9010743	545485 – 9010732	545192 – 9012136	579548 – 8992469
	P3	0545050 – 9010886	552986 – 9013803		
11	P1	0555318 – 9016934	555501 – 9018562		
	P2	0555578 – 9018152	551306 – 9023151	555157 – 9016992	579097 – 9005839
	P3	0554653 – 9016461	552986 – 9013803		
12	P1	0553587 – 9006377	553677 – 9006276		
	P2	0553329 – 9006949	553324 – 9006949	553738 – 9005750	571779 – 9008690
	P3	0553874 – 9005917	553910 – 9005292		
13	P1	0556976 – 9000854	556879 – 9000957		
	P2	0556913 – 9001068	556575 – 9001467	556850 – 9001082	579548 – 8992469
	P3	0557070 – 9000639	557441 – 9000173		
14	P1	0561819 – 8997878	561774 – 8997654		
	P2	0561764 – 8998037	562126 – 8998393	561872 – 8997616	579097 – 9005839
	P3	0561902 – 8997736	562801 – 8997805		
15	P1	0568504 – 8995108	568437 – 8994741		
	P2	0568441 – 8995120	568187 – 8995224	568592 – 8995030	571779 – 9008690
	P3	0568531 – 8995091	567892 – 8994295		
16	P1	0576955 – 9000792	576278 – 9001629		
	P2	0576651 – 9001387	574423 – 9004606	575107 – 9000872	579548 – 8992469
	P3	0576563 – 9000089	575011 – 8998684		

5.4 Análises Físico-Químicas de Solos

As análises físicas de solos nas áreas experimentais 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 (SA) e densidade do solo (DS) pelo método da proveta, conforme EMBRAPA (1997); e classificação textural, preconizados por Lemos e Santos (1996).

As análises químicas de solo consistiram nas seguintes determinações: pH em água e em KCl (aferidos na relação de 1: 2,5); complexo sortivo, com Ca_2^{++} Mg_2^+ e Al_3^+ extraídos com KCl 1N e determinados por complexometria com EDTA; K^+ e Na^+ extraídos com solução Mehlich e determinados por fotometria de chama; acidez potencial (H+Al) extraída com acetato de cálcio pH 7,0 e determinada por titulometria de neutralização; C orgânico determinado por oxidação via úmida com dicromato de potássio; N total determinado pelo método de Kjeldahl e destilação a vapor; a matéria orgânica (MO) determinada pela oxidação por via úmida com dicromato de potássio.

A partir dos dados obtidos, foram calculados, conforme EMBRAPA (1997), a relação carbono nitrogênio (CN), a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio trocável (PST).

Em seguida, as amostras dos solos foram homogeneizadas, acondicionadas em saco plástico, identificadas e enviadas para análise no laboratório AGROLAB – Análises Ambientais, localizado na cidade do Recife – PE.

5.5 Análises Físico de Sedimentos

As análises físicas dos sedimentos do fundo 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 (SA) e densidade do solo (DS) pelo método da proveta, conforme EMBRAPA (1997); e classificação textural, preconizados por Lemos e Santos (1996).

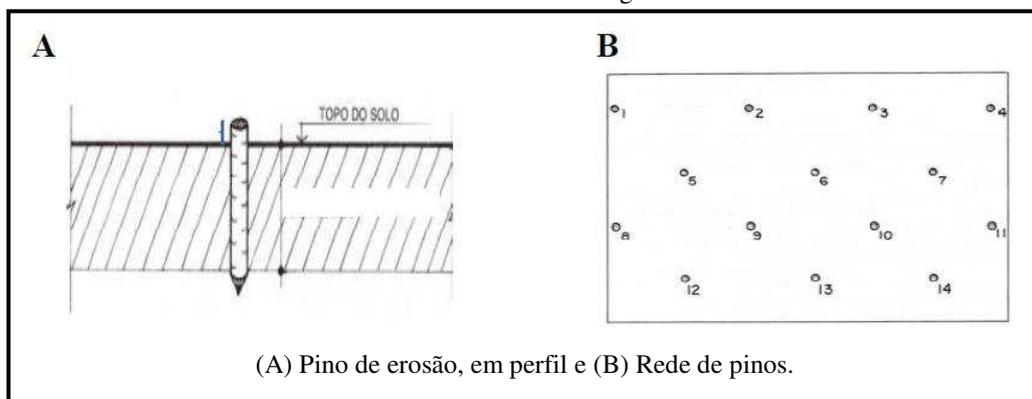
Em seguida, as amostras dos sedimentos dos P1, P2 e P3 foram homogeneizadas, acondicionadas em saco plástico, identificadas e enviadas para análise no laboratório AGROLAB – Análises Ambientais, localizado na cidade do Recife – PE.

5.6 Fixação e Monitoramento dos Pinos de Erosão das Áreas Experimentais

Os “pinos de erosão” trata-se de uma técnica barata e simples. São utilizados para medir visualmente a ocorrência de rebaixamento superficial de camada de solo em áreas com processos erosivos, como descritos por Bertoni e Lombardi Neto (2014), Morgan (2009) e Guerra (2005). São enterrados parcialmente e o aparecimento das marcas graduadas facilita a leitura e comprova o processo erosivo (SCARPINELLA, 2012).

A fixação dos pinos de erosão nas 16 (dezesseis) áreas experimentais foi aleatória, sendo considerada uma área com dimensões 10.000 m², que consistiu no cravamento de pinos de erosão nas áreas, com dimensões de 4 x 4 x 40 centímetros, deixando 5 cm de cada pino de erosão visível na superfície do solo, numerados e em local sem perturbação de animais e de pessoas (Figura 8A). Os pontos da rede dos pinos foram plotados em um diagrama para que se saiba exatamente a sua distribuição espacial (Figura 8B). O monitoramento dos pinos de erosão consistiu em voltar à área de estudo, trimestralmente, e medir o quanto o pino esteve exposto em relação ao solo (medidas em milímetros), totalizando 8 medições.

Figura 9 – Procedimentos de fixação dos pinos de erosão nas áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: Guerra (2002).

Em seguida, foram obtidas as coordenadas em UTM dos pontos de fixação dos pinos de erosão, conforme Tabela 2.

Os pinos de erosão foram utilizados tanto para a avaliação do rebaixamento superficial do solo nas áreas experimentais, como para o acompanhamento das linhas-controle. Com esses dados, foi possível acompanhar a erosão laminar das 16 (dezesseis) áreas experimentais trimestralmente e relacioná-las com as perdas de sedimentos.

Tabela 2 – Coordenadas em UTM dos pontos de fixação dos pinos de erosão e a declividade do solo, nas áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.

Áreas	EPE	NPE	LRP	DSL
	m		UTM	%
1	200	24	0579527 – 8992444	6
			0579508 - 8992418 -	
			0579599 - 8992436 -	
			0579554 – 8992408	
2	200	24	0579115 – 9005926	6
			0579109 – 9005898	
			0579156 – 9005916	
			0579148 – 9005888	
3	200	21	0571775 – 9008754	5
			0571725 – 9008724	
			0571757 - 9008766	
			0571714 - 9008742	
4	600	15	0567713 - 9007456	6
			0567694 - 9007512	
			0567749 - 9007472	
			0567730 - 9007528	
5	-	1	0544527 - 0544527	6
6	-	1	0537486 - 9008090	3
7	-	1	0522024 - 9027734	6
8	-	1	0532433 - 9016485	6
9	-	1	0532709 - 9009641	6
10	200	15	0545139 - 9010386	6
			0545130 - 9010324	
			0545123 - 9010248	
			0505113 - 9010336	
11	-	1	0554409 - 9016246	8
12	200	24	0553485 - 9006592	8
			0553447 - 9006576	
			0553500 - 9006614	
			0553448 - 9006550	
13	200	24	0557016 - 9000468	6
			0556999 - 9000446	
			0557046 - 9000442	
			0557035 - 9000426	
14	2000	20	0561003 - 8998852	6
			0560988 - 8998878	
			0560976 - 8998830	
			0560956 - 8998856	
15	-	1	0568521 - 8995076	6
16	-	1	0576098 - 9001709	6

Legenda: EPE = espaçamento entre pinos de erosão; NPE = número de pinos de erosão; LRP = limite das redes de pinos e DSL = declividade de solo.

5.7 Determinação Perda de Solo Através da Erosão Laminar

A perda de solo através da erosão laminar foi avaliada pela fórmula (GUERRA, 2005):

$$PSE = HS \times EXT \times DA \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

PSE = Perda de solo através de erosão laminar.

HS = Altura média da exposição dos pinos de erosão (m).

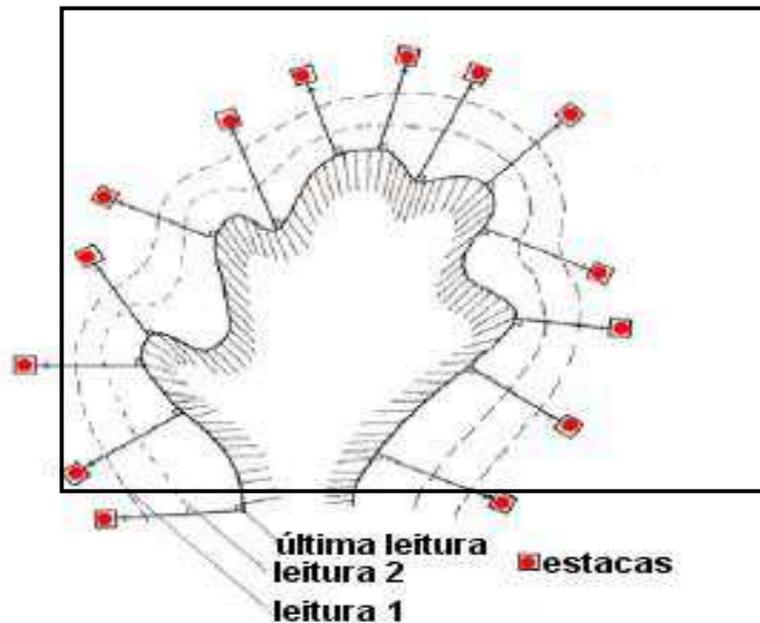
EXT = Extensão da área monitorada (largura x comprimento) (m²).

DA = Densidade aparente do solo (kg/m³).

5.8 Monitoramento dos Pinos de Linha-Controlé nos Desbarrancamentos Marginal

A fixação dos pinos de linha-controlé nos desbarrancamentos foi realizada ao redor das ocorrências erosivas e afastados a 10 metros da borda do reservatório, conforme Figura 9.

Figura 10 – Disposição dos pinos de linha-controlé para monitoramento de desbarrancamentos, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: Guerra (2005).

O monitoramento dos pinos de linha-controlé foi realizado a cada trimestre, durante o período de dois anos, sendo medido o quanto cada pino ficou exposto em relação ao solo, em um período de dois anos, totalizando 8 (oito) medições. Os pontos de localização desses pinos foram georreferenciados e distanciados um dos outros com variação dependendo da dimensão do desbarrancamento, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Coordenadas em UTM dos pontos de fixação dos pinos de linha-controlre, nos desbarrancamento das áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.

Áreas	Limites dos Pinos de Linha-controlre (UTM)	
	P1	P2
1	-	-
2	0579066 – 9005885	0579171 - 9005876
3	0571771 – 9008754	0571713 - 9008738
4	0567751 – 9007420	0567758 - 9007566
5	0544527 – 9024870	0544372 - 9024960
6	0537486 – 9008090	0537740 - 9007970
7	0522024 – 9027734	0522175 – 9027591
8	0532433 – 9016485	0542437 - 9016246
9	0532709 – 9009641	0532705 - 9009471
10	-	-
11	0554409 – 9016246	0554320 - 9016200
12	0553495 – 9003684	0553514 - 9006578
13	0557025 – 900048	0557072 - 9000426
14	-	-
15	0568537 – 8995076	0568477 - 8995090
16	0576098 – 9001709	0576198 - 9001607

Legenda: P1 = ponto do início da ocorrência erosiva; P2 = ponto final da ocorrência erosiva.

5.9 Determinação da Perda de Solo Através do Desbarrancamento Marginal

Para o cálculo de perda de solo através do desbarrancamento marginal, utilizou-se a fórmula (GUERRA, 2005).

$$PSD = AD \times EXT \times DA \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

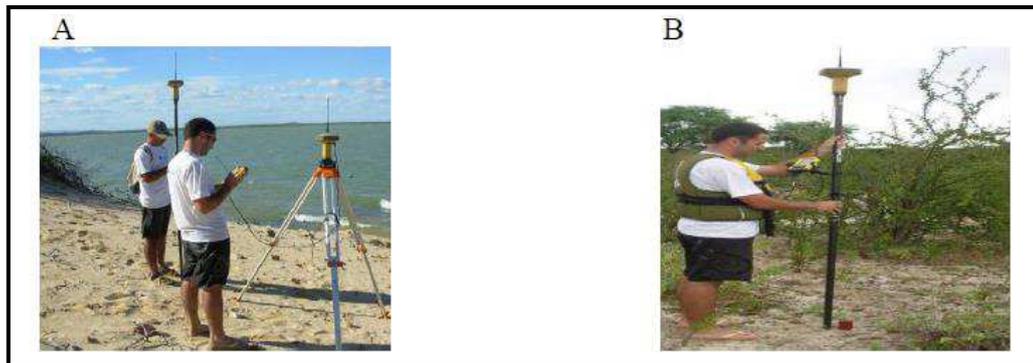
PSD = perda de solo através do desbarrancamento marginal.

AD = avanço do desbarrancamento (m).

EXT = extensão da área monitorada (largura x comprimento) (m²).

DA = densidade aparente do solo (kg/m³).

Para obtenção da altura média do barranco, foi realizado levantamento planialtimétrico nas margens das áreas experimentais. Utilizando-se a técnica de posicionamento de Levantamento Cinemático com Correção em Tempo Real), com o auxílio do receptor GPS TOPCON TPS GR3 (com frequências L1 e L2), conforme Figura 10A. Em seguida, foram registrados os dados de posicionamento do topo do barranco, em frente a cada um deles, com o auxílio do pino de monitoramento de desbarrancamento (Figura 10B).

Figura 11 – Equipamento receptor GPS TOPCON TPS GR3.

Fonte: CHESF (2013).

5.10 Classificação da Erosão

Visando avaliar o enquadramento dos resultados obtidos da perda de solo através da erosão laminar e da perda de solo através do desbarrancamento marginal com susceptibilidade à erosão, adotou-se a classificação proposta por Pereira (2006). As classes, os níveis da erosão e o potencial de perda de solo foram descritos conforme Pereira (2006), conforme Tabela 4.

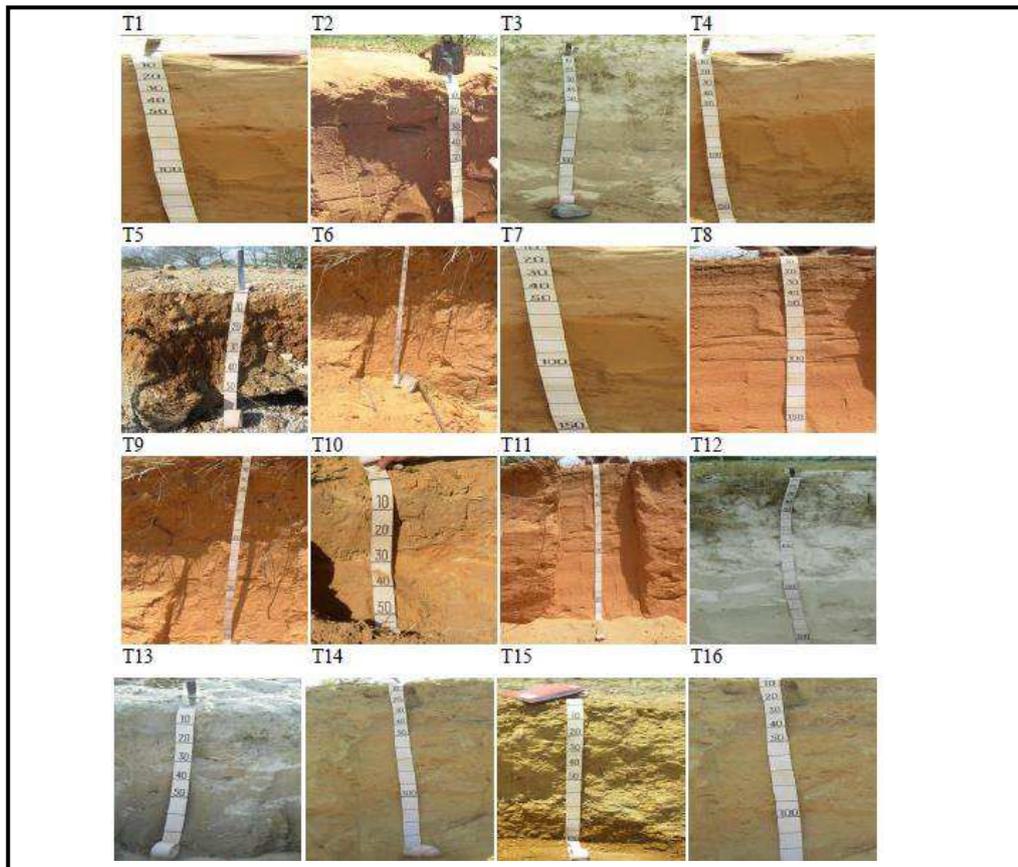
Tabela 4 – Classe e níveis da erosão de acordo com Pereira (2006).

Classe	Nível de Erosão	Potencial de perda de solo t.·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹
1	Muito baixo	< 6
2	Baixo	6 a 11
3	Moderado	11 a 22
4	Alto	22 a 33
5	Severo	> 33

5.11 Levantamento Pedológico

Os solos foram classificados conforme os Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos (EMBRAPA, 1995) e a identificação das classes de solos baseou-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS, (EMBRAPA, 2006), até o terceiro grau categórico. Foram abertas trincheiras (T1 a T16), sendo uma em cada área experimental, totalizando 16 (dezesseis), conforme Figura 11.

Figura 12 – Abertura de trincheiras das T1 a T16 para levantamento pedológico em áreas no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: CHESF (2013).

O mapa de solos foi elaborado pelo programa computacional SURFER 10 (GOLDEN SOFTWARE INC, 2011), conforme Figura 12. Os *shapes* do reservatório da usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga foram fornecidos pela CHESF, em seguida, importados para o ambiente de trabalho e conseguinte plotagem. Nessa etapa, foram realizadas todas as manipulações editoriais do mapa (mudança de níveis, filtros de coloração e contornos, inserção das escalas de cores, norte magnético e textos, entre outros), elencando, pormenorizadamente, todos os tipos gráficos existentes no mapa. Para que houvesse a junção dos mapas, foi necessária à aplicação da técnica Overlay dos *shapes* manipulados.

5.12 Estatísticas dos Dados

Os dados foram analisados por coeficiente de correlação de Pearson ao nível de 5% de probabilidade, e Matriz de Scatterplots ao nível de 5% de probabilidade. Para a execução das análises estatísticas, foram empregadas planilhas de cálculo do Microsoft Office Excel.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Levantamento Pedológico

Os solos encontrados no levantamento pedológico foram classificados como Neossolo Regolítico Eutrófico (RRe), na área A1; Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), nas áreas 2, 3, 12, 13 e 14; Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), nas áreas 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 16; Luvissole Crômico Órtico (TCo), na área 5 e Planossolo Háptico Eutrófico (SXe), na área 15, de acordo com EMBRAPA (2006), conforme Figura 12.

Os Neossolos Regolíticos caracterizam-se por apresentarem boas características químicas, conferindo boa fertilidade natural e teores de carbono orgânico. Contudo, esses solos apresentam potencial para uso com pastagens quando ocorrem em declividades inferiores a 20% e para atividades relativas à recreação, turismo rural, reflorestamento e preservação ambiental quando em declividades superiores.

Os Neossolos Litólicos ocorrem em toda a região semiárida, principalmente nas áreas mais acidentadas, onde são encontrados afloramentos rochosos (SÁ *et al.*, 2015).

São muito pouco desenvolvidos, rasos, não hidromórficos, apresentando horizonte A diretamente sobre a rocha ou horizonte C de pequena espessura. São, normalmente, pedregosos e/ou rochosos, moderadamente a excessivamente drenados, com horizonte A pouco espesso, cascalhento, de textura predominantemente média, podendo, também, ocorrer solos de textura arenosa, siltosa ou argilosa. Podem ser distróficos ou eutróficos, ocorrendo, geralmente, em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso.

Tanto os Neossolos Litólicos quanto os Neossolos Regolíticos são solos bastantes drenados, fortemente ácidos, pobres em nutrientes e susceptíveis a processos erosivos (SAGYP, 1990).

Os Luvissoles são solos rasos a pouco profundos, com horizonte B textural de cores vivas e argila de atividade alta, apresentando horizonte A fraco, de cor clara, pouco espesso, maciço ou com estrutura fracamente desenvolvida (SÁ *et al.*, 2015). São moderadamente ácidos a neutros, com elevada saturação por bases. Apresentam, frequentemente, revestimento pedregoso na superfície e, normalmente, possuem uma crosta superficial de 5 a 10 mm de espessura, além de altos teores de silte. São altamente susceptíveis aos processos erosivos, em virtude da grande diferença textural entre o horizonte A e o horizonte Bt.

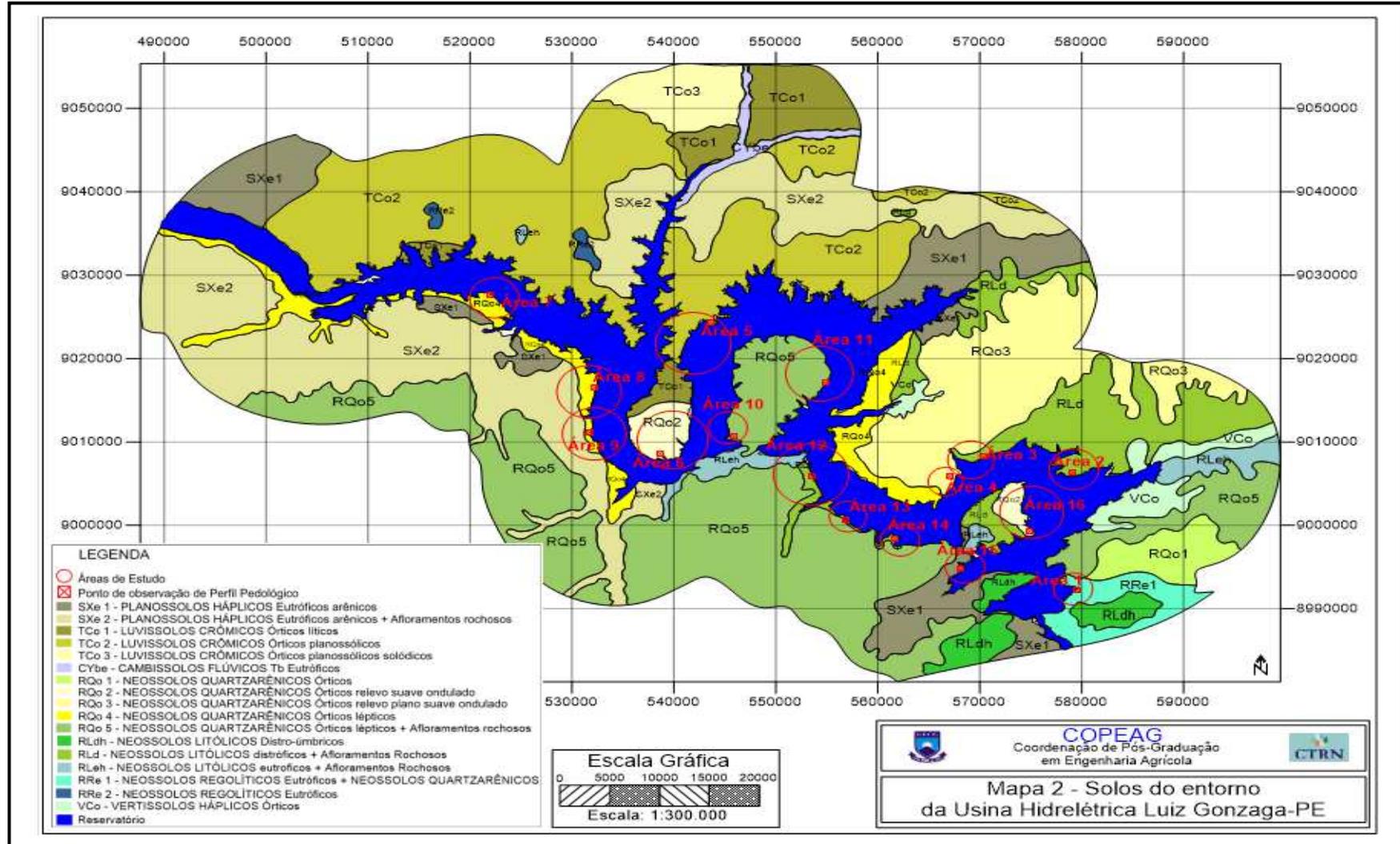
Os Neossolos Quartzarênicos ocorrem em praticamente todos os estados brasileiros. São solos minerais profundos, muito porosos, excessivamente drenados, com baixos teores de

silte e mais propícios a processos erosivos (JUNQUEIRA *et al.*, 2010).

De acordo com Coelho *et al* (2002), os Planossolos são solos com horizontes superficiais arenosos, com maior teor de argila em profundidade e apresentam uma susceptibilidade mediana à processos erosivos nas condições climáticas do semiárido nordestino, enquanto que os Luvisolos, em geral, com maiores conteúdos de argila, apresentam alta susceptibilidade e os Neossolos são os que apresentam maior potencial de erosivo devido à presença de conteúdos significativos de areia, associado, em alguns casos, a relevos dissecados.

Segundo Sá *et al* (2015); Ribeiro *et al* (2009) e Santos *et al* (2006) os solos predominantes na região estudada são os Latossolos, Cambissolos, Argissolos Vermelho amarelos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Luvisolos e Planossos.

Figura 12 – Mapa de solos das áreas experimentais, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Fonte: Autor (2015).

6.2 Análises Física dos Solos

As análises física dos solos estudados apresentaram classe textural diferentes para os solos RRe, RLe, TCo, RQo e SXe, conforme Tabela 5.

De acordo com a Tabela 5 observa-se o que se segue:

As amostras do solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe apresentaram textura arenosa, com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 6,5 % e 2,1%, respectivamente.

As amostras do solo dos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2 e 3 do RLe, apresentaram textura arenosa, com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 4,1% e 4,3%, respectivamente. Para as amostras do solo dos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 14, do RLe, apresentam textura franco argilo arenosa e areia franca, com mais de 86% de areia, e argila e silte com menos de 9,2% e 4,3%, respectivamente. As amostras do solo dos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do RLe, apresentam textura arenosa, respectivamente, com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 4,1% e 3,3%, respectivamente .

O solo dos horizontes A e Bt, na área 5, do TCo, apresentam textura areia franca e franco argilo arenosa, com mais de 48% de areia, e argila e silte com menos de 39% e 13%, respectivamente.

O solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do RQo, apresentam textura areia e areia franca, com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 6,9% e 7%, respectivamente. As amostras do solo dos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11 e 16, do RQo, apresentam textura arenosa, com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 6,0% e 5,2%, respectivamente. As amostras do solo dos horizontes A e Bc, na área 10, do RQo, apresentam textura areia franca, com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 6,9% e 7%, respectivamente.

As amostras do solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, apresentam textura areia franca, com mais de 60% de areia, e argila e silte com menos de 18% e 15%, respectivamente.

A relação silte argila (SA), de acordo com Oliveira (2008) e EMBRAPA (2006), indica o grau de intemperismo e evolução dos solos Como pode se observar os solos estudados apresentaram relação silte/argila, variando de 0,22 a 4,50. Os baixos valores de silte encontrados indicam que os solos são bastante intemperizados, concordando com Medeiros *et al* (2013).

Tabela 5 – Composição física e classe textural dos solos estudados, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.

A	Hz	P cm	Dg	AG	AF	S	ARG	ARGN	GF	SA	Classe Textural
Neossolo Regolítico Eutrófico (RRe)											
1	A	0-15	1,73	750	194	36	20	0	100	1,80	Areia
	C1	15-80	1,69	672	249	59	20	0	100	2,95	Areia
	C2	80-200	1,68	662	253	65	20	0	100	3,25	Areia
Neossolo Litólico Eutrófico (RLe)											
2	A	0-18	1,65	667	280	33	20	0	100	1,65	Areia
	C1	18-62	1,64	756	186	38	20	0	100	1,90	Areia
	C2	62-150	1,60	691	227	42	40	0	100	1,05	Areia
3	A	0-30	1,72	820	140	20	20	0	100	1,00	Areia
	C1	30-90	1,69	669	281	30	20	0	100	1,50	Areia
	C2	90-130	1,72	750	200	30	20	0	100	1,50	Areia
12	A	0-50	1,66	845	115	20	20	0	100	1,00	Areia
	C	50-200	1,79	714	226	40	20	0	100	2,00	Areia
13	A	0-10	1,63	640	308	32	20	0	100	1,60	Areia
	C	10-80	1,65	656	295	29	20	0	100	1,45	Areia
14	A	0-15	1,58	585	317	58	40	0	100	1,45	Franco Argilo Arenosa
	C1	15-85	1,63	647	265	48	40	0	100	1,20	Areia Franca
	C2	85-155	1,67	662	207	91	40	0	100	2,28	Areia Franca
Luvissole Crômico Órtico (TCo)											
5	A	0-10	1,36	411	301	164	124	10	92	1,32	Areia Franca
	Bt	10-35	1,42	345	140	130	385	140	64	0,34	Franco Argilo Arenosa
Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)											
4	A	0-15	1,65	528	395	57	20	0	100	2,85	Areia
	C1	15-60	1,63	552	339	69	40	0	100	1,73	Areia
	C2	60-165	1,60	543	324	63	70	0	100	0,90	Areia Franco
6	A	0-10	1,49	525	395	40	40	0	100	1,00	Areia
	C	10-210	1,60	687	234	39	40	0	100	0,98	Areia
7	A	0-10	1,47	450	495	45	10	0	100	4,50	Areia
	C	10-200	1,50	600	330	40	30	0	100	1,33	Areia
8	A	0-15	1,45	515	415	37	33	0	100	1,12	Areia
	C	15-190	1,51	520	370	50	60	0	100	0,83	Areia
9	A	0-13-	1,48	513	417	35	35	0	100	1,00	Areia
	C	13-200	1,50	518	372	52	58	0	100	0,89	Areia
10	A	0-20	1,63	447	355	54	144	0	100	0,38	Areia Franca
	Bc	20-40	1,53	474	326	36	164	0	100	0,22	Areia Franca
11	A	0-15	1,60	513	409	38	40	0	100	0,95	Areia
	C	15-100	1,67	529	392	19	60	0	100	0,32	Areia
16	A	0-20	1,45	420	490	43	47	0	100	0,91	Areia
	C	20-220	1,60	657	264	41	38	0	100	1,07	Areia

(Continua)

(Continuação)

A	Hz	P	Dg	AG	AF	S	ARG	ARGN	GF	SA	Classe Textural	
		cm	g.cm ⁻³						%			
Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)												
	A	0-20	1,58		539	324	77	60	30	50	1,28	Areia Franca
15	C1	20-50	1,58		430	313	117	140	40	71	0,84	Areia Franca
	C2	50-100	1,39		475	197	148	180	50	72	0,82	Areia Franca

Legenda: Hz = horizonte; Dg = densidade global; AG = areia grossa; AF = areia fina; S = silte; ARG = argila; ARGN = argila natural; GF = grau de flocculação e SA = relação silte argila.

Com base no grau de flocculação (GF) (Tabela 5), que as amostras dos solos dos horizontes A, C1 e C2 do RRe, na área A1 e do RLe, nas áreas A2, A3 e A14; dos horizontes A e C do RQo, nas áreas A6, A7, A8, A9, A11 e A16 e do RLe, na área A12; e dos horizontes A e B_c, na área A10, apresentam o mais alto grau GF, ou seja, 100%, enquanto as amostras dos solos dos horizontes A, C1 e C2, na área A15 e dos horizontes A e B_t, na área A5 apresentaram valores de GF aproximadamente de 50%, 71% e 72%, e 92% e 64%, respectivamente. De acordo com Carvalho *et al* (2007), Oliveira *et al* (1992) e Baruqui (1983), solos que possuem valores de GF superiores a 70%, geralmente, apresentam boas condições de estruturação e resistência à erosão. Por outro lado, os valores altos da fração de areia fina encontrados nos solos estudados contribuem para um aumento da susceptibilidade desses solos à ação dos processos erosivos.

Os valores da densidade global (Dg), conforme Tabela 5, nas amostras dos solos dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 1,68 a 1,73 g.cm⁻³; nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do RLe, variaram de 1,58 a 1,72 g.cm⁻³; nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do RLd, variaram de 1,58 a 1,79 g.cm⁻³; nos horizontes A e B_t, na área 5, do TC_o, variaram de 1,36 a 1,42 g.cm⁻³; nos horizontes A e C, nas áreas 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 16, do RQ_o, variaram de 1,45 a 1,67 g.cm⁻³; nos horizontes A e B_c, na área 10, do RQ_o, variaram de 1,53 a 1,63 g.cm⁻³; nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SX_e, variaram de 1,39 a 1,58 g.cm⁻³.

Segundo Reinert e Reichert (2006), os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 g.cm⁻³, enquanto os solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,90 a 1,7 g.cm⁻³. Valores de Dg do solo associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g.cm⁻³ para solos arenosos, e 1,45 g.cm⁻³ para solos argilosos. Os valores encontrados são comuns para classes de solos estudados e, não apresentando indícios de compactação do solo, corroboram

com os estudos, de acordo com Oliveira *et al.* (2009) e Scopel (2005).

De acordo com o exposto na Tabela 6 observa-se o que se segue:

Os níveis de pH em Água (pHA) encontrados nas amostras do solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, apresentaram-se fortemente ácidos; dos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2 e 14, do RLe, apresentaram-se fortemente ácidos; dos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 3, do RLe, apresentaram-se neutros; dos horizontes A e C, nas áreas 12, do RLe, apresentaram-se medianamente neutro e medianamente ácidos, respectivamente; dos horizontes A e C, nas áreas 13, do RLe, apresentaram solo fortemente ácido e neutro.

As amostras do solo nos horizontes A e B_t, na área 5, do TC_o, apresentaram valores de pH que evidenciam solo levemente ácido e neutro, respectivamente. As amostras do solo nos horizontes A e C, na área 4, do RQ_o, de acordo com o pH, fortemente ácido; nos horizontes A e C, nas áreas 6 e 7; do RQ_o, são levemente ácido e neutro, respectivamente; nos horizontes A e C, nas áreas 8 e 9; do RQ_o, são neutros; nos horizontes A e C, na área 10; do RQ_o, são levemente ácido e fortemente ácido, respectivamente; nos horizontes A e C, na área 11; do RQ_o, são medianamente ácido e fortemente ácido, respectivamente; nos horizontes A e C, na área 16; do RQ_o, são levemente ácido e neutro, conforme Tabela 6.

Observa-se, ainda, que, as amostras do solo nos horizontes A, C1 e C2, na área 16, do SXe, apresentaram solo fortemente ácidos. A calagem é recomendada, nesses casos, para melhorar a qualidade dos compartimentos ambientais.

O atributo químico das amostras de solo, o pH em água (pHA), ainda de acordo com a Tabela 6, nos horizontes A e C, na área 4, do RQ_o, evidencia solo fortemente ácido; nos horizontes A e C, nas áreas 6 e 7; do RQ_o, tem-se solo levemente ácido e neutro, respectivamente; nos horizontes A e C, nas áreas 8 e 9; do RQ_o, solos neutros; nos horizontes A e C, na área 10; do RQ_o, solos levemente ácido e fortemente ácido, respectivamente; nos horizontes A e C, na área 11; do RQ_o, solos medianamente ácido e fortemente ácido, respectivamente; nos horizontes A e C, na área 16; do RQ_o, solos levemente ácido e neutro.

Tabela 6 – Análises químicas dos solos com processos erosivos laminar, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.

A	Hz	P cm	pH		Ca+Mg	K	Na	SB	H	Al	CTC	V	m	PST	C	N	CN	MO		
			A	KCl																
													-----Cmol _c .kg ⁻¹ -----		----%----		g.kg ⁻¹		g.kg ⁻¹	
Neossolo Rególitico Eutrófico (RRe)																				
1	A	0-15	5,50	4,50	1,32	0,07	0,06	1,45	0,65	0,01	2,11	69	0,68	2,84	0,50	0,10	5,00	0,86		
	C1	15-80	5,10	4,10	0,90	0,10	0,06	1,07	0,75	0,02	1,84	58	1,83	3,26	0,40	0,10	4,00	0,69		
	C2	80-200	4,70	4,00	0,50	0,07	0,13	0,70	0,64	0,02	1,36	51	2,78	9,56	0,20	0,00	2,00	0,34		
Neossolo Litólico Eutrófico (NLe)																				
2	A	0-18	5,00	4,10	1,82	0,06	0,00	1,88	0,53	0,02	2,43	77	1,05	0,00	1,20	0,20	6,00	2,07		
	C1	18-62	4,90	4,00	1,22	0,04	0,00	1,26	0,49	0,06	1,81	70	4,55	0,00	0,30	0,20	3,00	0,52		
	C2	62-150	4,80	4,00	1,32	0,40	0,06	1,42	0,35	0,42	2,19	65	22,83	2,74	0,20	0,10	2,00	0,34		
3	A	0-30	6,80	6,00	0,40	0,03	0,00	0,43	0,11	0,00	0,54	80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	C1	30-90	6,70	6,00	0,50	0,03	0,00	0,53	0,22	0,00	0,75	71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	C2	90-130	6,90	6,10	0,50	0,01	0,00	0,52	0,11	0,00	0,63	83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
12	A	0-50	6,60	6,70	0,60	0,01	0,00	0,62	0,22	0,00	0,84	74	0,00	0,00	0,20	0,10	2,00	0,34		
	C	50-200	5,90	6,00	0,50	0,01	0,00	0,52	0,22	0,00	0,74	70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
13	A	0-10	5,20	4,20	0,71	0,04	0,00	0,75	0,87	0,01	1,63	46	1,32	0,00	0,50	0,10	5,00	0,86		
	C	10-80	6,60	5,80	1,01	0,04	0,00	1,05	0,33	0,00	1,38	76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
14	A	0-15	5,20	4,20	1,11	0,14	0,00	1,26	1,08	0,02	2,36	53	1,56	0,00	1,50	0,20	7,50	2,59		
	C1	15-85	4,60	3,90	0,81	0,09	0,00	0,89	0,78	0,32	1,99	45	26,45	0,00	0,70	0,20	3,50	1,21		
	C2	85-155	4,50	3,90	0,71	0,09	0,00	0,79	0,56	0,43	1,78	44	35,25	0,00	0,20	0,20	2,00	0,34		
Luvissolo Crômico Órtico (TCo)																				
5	A	0-10	6,4	5,50	4,05	0,17	2,56	6,78	3,38	0,03	10,19	67	0,44	25,12	13,73	1,30	10,54	23,62		
	C	10-35	6,7	5,80	13,58	0,23	0,32	14,14	3,50	0,02	17,66	80	0,14	1,81	13,63	1,10	12,36	23,45		
Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)																				
4	A	0-15	4,80	4,00	0,60	0,07	0,00	0,68	0,58	0,30	1,56	44	30,61	0,00	0,60	0,20	3,00	1,03		
	C1	15-60	4,40	3,80	0,80	0,07	0,00	0,86	0,24	0,97	2,09	42	52,43	0,00	0,20	0,10	2,00	0,34		
	C2	60-165	4,10	3,80	0,60	0,09	0,00	0,69	0,29	1,80	2,78	25	72,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
6	A	0-10	6,40	5,80	2,03	0,17	0,13	2,33	3,38	0,03	5,74	41	1,27	2,26	14,53	1,20	12,08	25,00		
	C	10-210	6,90	5,90	1,11	0,10	0,06	1,28	3,16	0,03	4,47	29	2,29	1,34	11,82	1,00	11,80	20,34		
7	A	0-10	6,40	5,40	2,10	0,14	0,10	2,34	3,38	0,03	5,80	41	1,27	2,00	14,51	1,20	12,09	24,96		
	C	10-200	6,50	5,80	1,13	0,10	0,07	1,30	3,16	0,03	4,51	29	2,26	2,00	10,75	1,00	10,75	18,49		
8	A	0-15	6,60	5,50	1,29	0,13	0,12	2,32	3,40	0,02	5,70	41	0,90	1,99	14,73	1,17	12,46	25,31		
	C	15-190	6,71	5,70	1,00	0,12	0,07	2,19	3,09	0,04	4,40	28	4,20	1,00	11,90	1,10	20,50	20,50		
9	A	0-13-	6,60	5,50	2,02	0,16	0,12	2,30	3,41	0,02	5,70	40	0,86	1,97	14,71	1,18	25,30	25,30		
	C	13-200	6,70	5,80	1,01	0,11	0,06	1,17	3,10	0,05	4,30	27	4,10	1,00	11,91	1,11	20,49	20,49		

(Continua)

(Continuação)

Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)																		
10	A	0-20	6,20	5,30	1,21	0,09	0,13	1,43	3,06	0,02	4,51	32	1,38	2,88	12,93	1,00	12,90	22,24
	Bc	20-40	5,00	4,00	1,12	0,07	0,13	1,31	3,09	0,21	4,61	28	13,82	2,82	13,21	1,20	11,00	22,76
11	A	0-15	5,80	4,70	1,02	0,07	0,06	1,15	3,50	0,02	4,67	25	1,71	1,28	16,23	1,30	12,46	27,93
	C	15-100	5,00	4,60	0,40	0,01	0,06	0,48	3,28	0,07	3,78	13	12,73	1,59	12,21	1,00	12,20	21,03
16	A	0-20	6,40	5,70	1,97	0,15	0,10	1,41	2,95	0,05	4,40	32	3,42	2,00	13,10	1,55	8,45	22,53
	C	20-220	6,50	5,80	1,15	0,10	0,07	1,32	2,98	0,04	4,30	30	2,94	1,98	12,01	1,10	10,92	20,66
Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)																		
	A	0-20	5,2	4,2	1,52	0,13	0,06	1,71	1,52	0,02	3,25	53	1,16	1,85	1,60	0,20	8,00	2,76
15	C1	20-50	4,4	3,9	1,12	0,13	0,19	1,43	1,44	0,76	3,63	39	34,70	5,23	0,70	0,20	3,50	1,21
	C2	50-100	4,1	3,7	1,01	0,04	0,06	1,12	0,70	1,50	3,32	34	57,25	1,81	0,20	0,20	2,00	0,34

Legenda: Hz = horizonte, P = profundidade, pH_A = pH em água, pH_{KCL} = pH em KCL, Ca+Mg = cálcio mais magnésio; K = potássio; Na = sódio; SB = soma de bases; H = hidrogênio; Al = alumínio, CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; m = saturação de alumínio; PST = saturação por sódio trocável; C = carbono; N = nitrogênio; CN = relação carbono nitrogênio e MO = matéria orgânica.

6.3 Análises Química dos Solos

Os valores encontrados de pH em KCl (pHKCl) nos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 4,00 a 4,10 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 3,90 a 6,90 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 5,20 a 6,60 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bt, na área 5 do RLe, variaram de 6,40 a 6,70 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram de $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 5,00 a 6,90 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 5,00 a 6,20 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. O balanço das cargas elétricas nos horizontes dos solos estudados indica predominância de cargas negativas, ou seja, maior retenção de cátions do que de ânions (Tabela 6).

O pHKCL correlacionou-se positivamente ($r = 0,951$, $p < 0,05$) com a pHA. Valladares *et al* (2008) encontraram correlações entre pHKCL com SB positivas e elevadas, corroborando com os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Coeficientes de correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson das variáveis físico-químicas dos solos das áreas com processos erosivos laminar, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga.

Variáveis	AG	ARGN	pH Cl	Ca	Mg	SB	CTC	m	PST	C	N	CN	MO
Dg	0,758												
ARG		0,876		0,792	0,795	0,792	0,774						
ARGN						0,864							
pH A			0,951										
pH KCl						0,979							
Ca							0,889						
Mg							0,882						
Na									0,932				
SB							0,923					0,875	
H										0,979			0,979
Al								0,960					
C											0,983	0,853	0,999
N												0,835	0,983
CN													0,853

Legenda: Dg = densidade global; AG = areia grossa; ARG = argila; ARGN = argila natural; pH A = pH em água; pH KCl = pH em KCl; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Na = sódio; SB = soma de bases; Al = alumínio; H = hidrogênio; CTC = capacidade de troca catiônica; m = saturação de alumínio; PST = saturação por sódio trocável; C = carbono; N = nitrogênio; CN = relação carbono nitrogênio e matéria orgânica.

Verifica-se nesta Tabela os atributos físicos que melhor se relacionaram com os atributos físico-químicos nas áreas com processos erosivos laminar foram Dg, areia grossa,

argila e argila natural. A areia grossa correlacionou-se positivamente ($r = 0,758$, $p < 0,05$) com Dg; a argila correlacionou-se positivamente com argila natural ($r = 0,876$, $p < 0,05$), Ca ($r = 0,792$, $p < 0,05$), Mg natural ($r = 0,795$, $p < 0,05$), SB ($r = 0,792$, $p < 0,05$) e CTC ($r = 0,774$, $p < 0,05$); e a argila natural se correlacionou-se positivamente com SB.

Em relação aos valores de cálcio mais magnésio (Ca+Mg) das amostras do solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 0,50 a 1,32 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,50 a 1,82 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,50 a 0,71 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.

Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 4,07 a 13,58 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram de 0,60 a 0,80 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 0,40 a 2,10 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 1,12 a 1,21 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 1,01 a 1,52 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ (Tabela 6). O Ca e o Mg correlacionaram positivamente ($r = 0,792$, $p < 0,05$) e ($r = 0,795$, $p < 0,05$), respectivamente, com argila, conforme Tabela 7.

Valores e tendência similares de cálcio mais magnésio têm sido registradas para outros Luvisolos do Nordeste brasileiro, segundo Mota (1997), Araújo Filho *et al.* (2000) e Oliveira *et al.* (2009).

Om relação ao potássio (K) verifica-se na Tabela 6, que as amostras de solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 0,07 a 0,10 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,1 a 0,40 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,01 a 0,04 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bt, na área 5 do RLe, variaram de 0,17 a 0,23 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram de 0,07 a 0,09 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 0,01 a 0,17 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 0,07 a 0,09 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 0,04 a 0,13 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.

Os baixos teores encontrados de K e Ca+Mg nos solos, exceto nos RLe, revelam que o desenvolvimento de culturas nas áreas estudadas é prejudicado pela deficiência desses elementos, uma vez que seus teores variam de baixo a médio. Segundo Raij (1991), solos com baixos teores de Ca+Mg são também muito ácidos e a neutralização dessa acidez dar-se-á por calagem, suprindo de forma eficaz.

Em relação ao alumínio (Al), os valores encontrados nas amostras de solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 0,01 a 0,02 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, de acordo,

ainda com a Tabela 6. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,00 a 0,43 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,00 a 0,01 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 0,02 a 0,03 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram de 0,30 a 1,80 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 0,01 a 0,07 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 0,02 a 0,21 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 0,02 a 1,50 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.

Os teores de Al nos horizontes dos solos estudados tendem a aumentar em profundidade, sendo ausente nos horizontes A das áreas 3 e 12. Observa-se que os valores mais altos de Al em profundidade acompanham a redução do pH nas camadas avaliadas, fato coerente observado por Zambrosi *et al* (2007) e Silva Júnior *et al* (2012).

De acordo com Ribeiro *et al* (1999), os valores da soma de bases (SB) presentes nas amostras de solo nos horizontes estudados foram baixos, com valores um pouco maiores no horizontes A. Esse fato evidencia a contribuição da vegetação e da matéria orgânica oriunda dela na ciclagem e manutenção de nutrientes no sistema (Tabela 6). A SB correlacionou positivamente com ARG ($r = 0,792$, $p < 0,05$), ARGN ($r = 0,864$, $p < 0,05$) e pHKCl ($r = 0,979$, $p < 0,05$) (Tabela 7).

A capacidade de troca catiônica (CTC) é importante no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis para as plantas. Os valores encontrados da CTC (Tabela 6) nas amostras de solo nos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 1,36 a 2,11 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,63 a 2,43 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,74 a 1,63 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 10,19 a 17,66 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram 1,56 a 2,78 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 3,78 a 5,80 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 4,51 a 4,61 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 3,25 a 3,63 $\text{Cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.

Os valores encontrados da CTC nas amostras de solo nos horizontes são baixos, exceto nos solos das áreas 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 16, que são medianos e no solo da área 5, que é alto. Valores e comportamentos parecidos são registrados para Neossolos, Luvisolos e Planossolos do Nordeste (JACOMINE *et al.*, 1971, 1972a,b, 1973a,b, 1975a,b; OLIVEIRA *et al.*, 2009). A baixa CTC nos solos estudados se dá, praticamente, em função da granulometria arenosa e dos baixos valores de MO (ELTZ; ROVERDDER, 2005; SANTOS *et al.*, 2012). A

CTC correlacionou positivamente com ARG ($r = 0,774$, $p < 0,05$), Ca ($r = 0,889$, $p < 0,05$), Mg ($r = 0,882$, $p < 0,05$) e SB ($r = 0,923$, $p < 0,05$), conforme Tabela 7.

Com base nos valores da SB e da CTC, calculou-se a saturação por bases (V) (Tabela 2) nas amostras de solo nos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, que variaram de 51 a 69%. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 44 a 83%. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 46 a 76 %. Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 67 a 80%. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram 25 a 44%. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 25 a 44%. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 13 a 25%. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 34 a 53%.

Destaca-se que V é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, pois é a partir de seus percentuais que são definidos o caráter eutrófico (férteis) com $V \geq 50\%$ e o caráter distrófico (pouco férteis) com $V < 50\%$ (TOMÉ JÚNIOR, 1997; EMBRAPA, 2010). Os valores de V nos horizontes A dos solos estudados apresentam caráter distrófico (4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 16) e caráter eutrófico (1, 2, 3, 5, 12, 13, 14 e 15).

Esse cenário pontua que os solos estudados apresentam baixa fertilidade natural e, se cultivados, podem necessitar de adubações, sejam estas minerais ou orgânicas. Sublinha-se, também, que o solo da área 5 apresenta limitações quanto à fertilidade, já que apresenta alto valor SB e teores elevados de Na e Mg, indicando a presença de salinidade.

Os valores da saturação por sódio trocável (PST), de acordo com a Tabela 6, apresentam que as amostras do solo dos horizontes podem ser classificados como normais (EMBRAPA, 1988), demonstrando que os valores de Na presentes no solo não são prejudiciais às culturas. Entretanto, as amostras de solo dos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de normal a sódico, respectivamente. Isto permite inferir que na área 5 pode estar ocorrendo problemas sob o aspecto físico e químico do solo, decorrentes do acúmulo de Na superfície do solo. Esse acúmulo pode ser justificado pela topografia plana da área, indicando que o sistema de drenagem das águas superficiais é deficiente. O PST correlacionou positivamente ($r=0,932$, $p < 0,05$) com NA (Tabela 7).

Os teores de matéria orgânica (MO) encontrados nas amostras de solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 51 a 69%. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 44 a 83%. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 46 a 76 %. Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 67 a 80%. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram 25 a 44%. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 25 a 44%. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo,

variaram de 13 a 25%. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 34 a 53%. Os teores de MO encontrados nas amostras de solo dos horizontes nas áreas A1, A2, A3, A12, A13, A14 e A15 foram baixos, enquanto que nas áreas A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11 e A16 foram altos (Tabela 6).

O teor de MO correlacionou positivamente com H ($r = 0,979$, $p < 0,05$; C ($r = 0,999$, $p < 0,05$), N ($r = 0,983$, $p < 0,05$) e CN ($r = 0,853$, $p < 0,05$) (Tabela 3). A correlação de MO com H releva que, quanto maior o teor de MO nos solos, menor será sua acidez nos solos.

O Carbono (C) é um indicador de qualidade do solo, tanto em sistemas agrícolas como em áreas de vegetação nativa (JANZEN, 2005). Este elemento tem afinidades com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, de acordo com Silva Júnior *et al.* (2004).

Os valores de C encontrados nas amostras de solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 0,34 a 0,86 g.kg^{-1} . Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,00 a 2,59 g.kg^{-1} . Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,00 a 0,86 g.kg^{-1} . Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 23,45 a 23,65 g.kg^{-1} . Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram 0,00 a 1,03 g.kg^{-1} . Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 18,49 a 27,93 g.kg^{-1} . Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram de 22,24 a 22,76 g.kg^{-1} . Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 0,34 a 2,76 g.kg^{-1} .

Os maiores teores de C apresentaram-se nos horizontes superficiais dos solos com processos erosivos estudados (0,00 a 25,00 g kg^{-1}) devido à deposição de material orgânico, seguido de notado decréscimo do teor com a profundidade, com valores variando de 0,01 a 4,46 g kg^{-1} . Os baixos teores de C encontrados nos solos estudados foram devido à degradação da caatinga hiperxerófila e do solo exposto. O não revolvimento do horizonte superficial dos solos estudados pode ter influenciado o acúmulo de C na superfície (FALLEIRO *et al.*, 2004; SOUZA, 2006). No entanto, segundo Bayer (2004), solos intemperizados são altamente dependentes da MO para promoverem uma variação positiva nos estoques de C nos mesmos.

Nas áreas estudadas o C ($r = 0,979$, $p < 0,05$) correlacionou positivamente com H (Tabela 7). Comparando-se com Nachtigall (2008), os teores de C são baixos, pois este encontrou valores de até 94 g/kg nos tipos de solos estudados, com o diferencial de a terra ser cultivada. O estudo do referido autor está localizado na região sul do Brasil, onde o clima favorece a decomposição da matéria orgânica no solo, ao contrário do que ocorre na região semiárida do Nordeste brasileiro, devido ao clima seco e à baixa pluviosidade.

Os valores de nitrogênio (N) encontrados nas amostras de solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, variaram de 0,00 a 0,10 g.kg⁻¹. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,00 a 0,20 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,00 a 0,10 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 1,10 a 1,30 g.kg⁻¹. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo, variaram 0,00 a 0,20 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 1,00 a 1,55 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram 1,00 a 1,20 g.kg⁻¹. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, distaram 0,20 g.kg⁻¹, respectivamente. (Tabela 6).

Os baixos teores de N encontrados interferem no crescimento vegetal e comprometem o estabelecimento da cobertura vegetal nas áreas estudadas. A MO é fonte desse elemento, conseqüentemente, existe uma relação entre os valores de N encontrados nas amostras de solos dos horizontes nas áreas estudadas, ou seja, maiores valores de MO sugerem maiores valores de N. Baixos valores de N interferem na relação carbono nitrogênio (CN), elevando os valores desta variável e tornando mais difícil a decomposição da MO no solo, o que afeta negativamente a nutrição vegetal.

Nas áreas estudadas, o N ($r = 0,983$, $p < 0,05$) correlacionou positivamente com C (Tabela 7). Rhoden (2006) encontrou a correlação positiva entre o N e o C, apontando o N como atributo satisfatório no solo para as plantas.

Com relação à CN, encontrados nas amostras de solo dos horizontes A, C1 e C2, na área 1, do RRe, uma variação de 2,00 a 4,00 g.kg⁻¹. Nos horizontes A, C1 e C2, nas áreas 2, 3 e 14, do NLe, variaram de 0,00 a 7,50 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e C, nas áreas 12 e 13, do NLe, variaram de 0,00 a 5,00 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e Bt, na área 5, do RLe, variaram de 10,54 a 12,36 g.kg⁻¹. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 4, do NQo variaram 0,00 a 3,00 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e C, na área 6, 7, 8, 9, 11, 16, do NQo, variaram de 8,45 a 25,30 g.kg⁻¹. Nos horizontes A e Bc, na área 10, do NQo, variaram 11,00 a 12,90 g.kg⁻¹. Nos horizontes A, C1 e C2, na área 15, do SXe, variaram de 2,00 a 8,00 g.kg⁻¹. Os valores da relação CN apresentaram correlação positiva com H ($r = 0,875$, $p < 0,05$), C ($r = 0,853$, $p < 0,05$) e N ($r = 0,835$, $p < 0,05$), conforme Tabela 7.

Valladares *et al* (2008) relatam que, por haver grandes competição do N com os organismos, os solos com alta relação CN são comuns à deficiência do nitrogênio para as culturas, já que este elemento fica imobilizado. Por outro lado, o nitrogênio também é deficiente aos microorganismos decompositores, que têm sua população reduzida e, nesse processo, a decomposição/mineralização da matéria orgânica torna-se lenta.

Ressalta-se que a ausência de colóides agregantes tornam os RRe, NLe e SXe susceptíveis a atuação dos processos erosivos (KER *et al.*, 1990). Conhecendo esses resultados e considerando a MO como condicionador do solo e seus efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, a incorporação da MO nesses solos poderá proporcionar uma melhor porosidade/estabilidade dos agregados do solo e, conseqüentemente, uma melhor drenagem, favorecendo, então, a melhoria da fertilidade do solo e disponibilizando elementos essenciais para as plantas, como fósforo, magnésio, cálcio, enxofre e micronutrientes.

Verificou-se que a quantidade de MO exerceu influência marcante na Dg, o que justifica o fato dos horizontes superficiais dos solos possuírem maior quantidade de matéria orgânica que os subsuperficiais, corroborando com estudos de Brady e Weil (2012).

6.4 Determinações das Perdas de Solos por Erosão

Na Tabela 8 encontram-se, no período de dois anos, os dados trimestrais da altura média de solo erodido, altura da exposição dos pinos de erosão, extensão da área monitorada e a densidade aparente média do solo necessário para a estimativa do cálculo da perda de solo nas áreas no entorno da usina hidrelétrica.

Tabela 8 – Estimativa da perda de solos por erosão laminar nas áreas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga - PE, durante dois anos.

Áreas	HS m	EXT m ²	DA kg.m ⁻³	PSE kg.ha. ⁻¹ ano ⁻¹	Declividade %
1	0,010	10.000 m ²	1,70	85,00	6
2	0,018		1,64	147,60	6
3	0,012		1,71	205,20	5
4	0,014		1,70	102,60	6
5	0		-	-	6
6	0		-	-	3
7	0,012		1,50	90,00	6
8	0,014		1,51	105,70	6
9	0,013		1,52	98,80	6
10	0,014		1,63	114,10	6
11	0		-	-	8
12	0,020		1,73	173,00	8
13	0,016		1,69	135,20	6
14	0,009		1,66	74,70	6
15	0,017		1,66	141,10	6
16	0,014		1,60	112,00	6

Legenda: HS = altura da exposição dos pinos de erosão; EXT = extensão área monitorada; DA = densidade aparente média do solo e PSE = perda de solo.

Observa-se que os valores médios da densidade aparente nas amostras dos solos das

áreas estudadas variaram de 1,50 a 1,73 kg m⁻³. Solos arenosos, com densidade global superior a 1,75 kg m⁻³, podem impedir a penetração das raízes das árvores (KIEHL, 1979), o que, para os solos das áreas estudadas, confere condições favoráveis para o crescimento radicular das culturas a ser implantadas.

As perdas de solo não foram maiores devido à declividade das áreas apresentarem relevo plano na área 6 e relevo suave a ondulado nas demais áreas do estudo (Tabela 8). Estas menores perdas podem estar associadas à mineralogia do solo e à cobertura vegetal, que acabam criando uma superfície irregular, reduzindo a velocidade da enxurrada e o transporte de solo.

Para a erosão laminar dos solos das áreas estudadas, foram verificadas as classes e os níveis de erosão, conforme Pereira (2006). Foram consideradas a classe 1 e nível muito baixo (< 6 t.ha⁻¹.ano⁻¹) para todas as áreas; exceto 5, 6 e 11, nas quais a altura da exposição dos pinos de erosão foi nula, conforme Tabela 8. Provavelmente, a perda muito baixa é influenciada pelo relevo suave a ondulado em 95% das áreas estudadas, corroborando com Lopes *et al* (2015).

6.5 Determinação de Perda dos Solos através do Desbarrancamento Marginal

Na Tabela 9 encontram-se, no período de dois anos, os dados trimestrais da altura média do barranco, da extensão da área monitorada e da densidade aparente do solo. Eles foram necessários para a estimativa do cálculo da perda de solo através do desbarrancamento marginal nas áreas no entorno da usina, no período de dois anos, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Estimativa de perda de solos através de desbarrancamento marginal nas áreas, no entorno da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga - PE, durante dois anos.

Áreas	AD m	EXT (AD x 10.000) m ²	HB m	DA kg.m ⁻³	PSD t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	
					1 ano	2 ano
1	-	-	-	-	-	-
2	1,83	18.300	2,0	1,64	15,00	30,01
3	1,00	10.000	3,0	1,71	8,55	17,10
4	1,46	14.600	1,5	1,70	12,41	24,82
5	0,44	4.400	1,0	1,42	3,12	6,24
6	1,43	14.300	8,0	1,60	11,44	22,88
7	1,34	13.400	6,0	1,50	10,05	20,10
8	0,66	6.600	5,0	1,51	4,98	9,96
9	1,39	13.900	6,0	1,52	10,56	21,12
10	-	-	-	-	-	-

(Continua)

(Continuação)

Áreas	AD	EXT (AD x 10.000)	HB	DA	PSD	
					1 ano	2 ano
	M	m ²	m	kg.m ⁻³	t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	
11	1,60	16.000	10,0	1,67	13,36	26,72
12	1,30	13.000	3,0	1,73	11,24	22,49
13	0,88	8.800	1,0	1,69	7,43	14,87
14	-	-	-	-	-	-
15	0,40	4.000	1,0	1,66	3,32	6,64
16	1,04	10.400	3,0	1,60	8,32	16,64

Legenda: AD = Avanço do desbarrancamento; EXT = extensão da área monitorada; HB = altura média do barranco; DA = densidade aparente média do solo e PSD = perda de solo do desbarrancamento marginal.

O parâmetro de comparação para as perdas de solo através de desbarrancamento marginal para um ano de monitoramento das áreas estudadas foram as classes e o níveis de erosão, conforme Pereira (2006). Foram consideradas a classe 1 e nível muito baixo (<6 t.ha⁻¹.ano⁻¹) para área 5, 8 e 15; a classe 2 e o nível baixo (6 a 11 t.ha⁻¹.ano⁻¹) para as áreas 3, 7, 9, 13 e 16 a classe 3 e nível moderado (11 a 22 t.ha⁻¹.ano⁻¹) para as áreas 2, 4, 6, 11 e 12. Para as áreas 1, 10 e 14, a avanço do desbarrancamento foi considerada nula (Tabela 9).

Embora para a região de estudo não se tenha trabalhos relatando os limites de tolerância para perda de solo, confrontando com trabalhos da literatura, parecem ser próximas dos limites de tolerância de perda de solo. Bertoni e Lombardi Neto (2014) apontaram para alguns solos pouco desenvolvidos do estado de São Paulo, amplitudes de tolerância de perdas de solo de 1,9 a 7,3 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para o solo antes denominado de Litossolo e 9,7 a 16,5 t. ha⁻¹.ano⁻¹ para o Regossolo, com uma média ponderada em relação à profundidade de, respectivamente, 4,2 e 14,0 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Oliveira *et al* (2008) verificaram que a tolerância de perdas de solo por erosão é em torno de 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para Neossolos do estado da Paraíba, enquanto Silva *et al.* (2005) citam limites de tolerância de 12,70 e 5,60 t.ha⁻¹.ano⁻¹ por ano para, respectivamente, solos tipos Latossolo e Cambissolo, da região de Lavras/MG.

Bertol & Almeida (2000) destacam que é essencial conhecer os limites de perda de solo toleráveis para comparar a eficiência relativa de controle da erosão hídrica dos sistemas de manejo do solo. Avaliando métodos de estimativa de tolerância de perdas para diferentes solos de Santa Catarina, os autores encontram valores variando de 14,5 e 1,88 t.ha⁻¹.ano⁻¹ respectivamente para o solo Terra Bruna Estruturada e solos Litólicos, considerando uma densidade de 1,25 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

A composição granulométricas das amostras de solo do desbarrancamento marginal das áreas estudadas e dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga, durante o período de 2 anos, encontram-se na Tabela 10.

Verifica-se nesta Tabela que a composição granulométrica das amostras dos solos do desbarrancamento marginal apresentou maiores quantidades de AG 840,00 g.cm⁻³ para área 3; de AF 565,00 g.cm⁻³ para área 9, de S 146,00 g.cm⁻³ para área 5 e de ARG 228,00 g.cm⁻³ para área 6 (Tabela 10). Os solos do desbarrancamento marginal apresentam percentuais de AG maiores que 35%, o que propicia as margens uma suscetibilidade à erosão, principalmente nos Neossolos. A instabilidade da margem associada à ausência de vegetação ciliar contribui para o aporte de sedimento no reservatório da usina.

A classe textural das amostras dos solos do desbarrancamento marginal apresentou textura areia nas áreas 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 e 16; com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 6% e 4%, respectivamente, conforme Tabela 10. Nas áreas 5, 6, 10 e 15 apresentaram textura franco arenosa, com mais de 63% de areia, e argila e silte com menos de 22% e 15%, respectivamente (Tabela 10).

A composição granulométrica das amostras dos sedimentos do reservatório apresentou maior quantidade AG 833,00 g.cm⁻³ para área 2; de AF 493,00 g.cm⁻³ para área 8, de S 183,00 g.cm⁻³ para área 5 e de ARG 247,00 g.cm⁻³ para área 5.

Tabela 10 – Média das variáveis físicas dos solos do desbarrancamento marginal das áreas estudadas e dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga - PE, durante dois anos.

Áreas	Solos do desbarrancamento marginal					Sedimentos				
	AG	AF	S	ARG	Classe Textural	AG	AF	S	ARG	Classe Textural
	g.cm ⁻³					g.cm ⁻³				
1	786	158	16	40	Areia	639	280	55	26	Areia
2	648	284	24	20	Areia	833	127	20	20	Areia
3	840	118	0	40	Areia	694	266	20	20	Areia
4	570	361	49	20	Areia	685	277	18	20	Areia
5	404	246	146	224	Franco Arenosa	325	245	183	247	Franco Arenosa
6	380	232	140	228	Franco Arenosa	509	251	140	100	Franco Arenosa
7	450	488	8	54	Areia	489	471	20	20	Areia
8	550	375	30	45	Areia	467	493	20	20	Areia
9	359	565	34	42	Areia	723	230	21	26	Areia
10	538	280	38	144	Franco Arenosa	388	356	176	80	Franco Arenosa
11	430	488	18	64	Areia	468	492	20	20	Areia
12	600	360	20	20	Areia	689	271	20	20	Areia

(Continua)

(Continuação)

Áreas	Solos do desbarrancamento marginal					Sedimentos				
	AG	AF	S	ARG	Classe Textural	AG	AF	S	ARG	Classe Textural
	g.cm ⁻³					g.cm ⁻³				
13	617	323	40	20	Areia	687	244	42	27	Areia
14	777	154	29	40	Areia	689	255	36	20	Areia
15	530	162	108	200	Franco Arenosa	552	193	135	120	Franco Arenosa
16	465	425	48	62	Areia	634	324	22	20	Areia

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

A classe textural das amostras dos sedimentos do reservatório apresentou textura areia nas áreas 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 e 16; com mais de 90% de areia, e argila e silte com menos de 6% e 4%, respectivamente, conforme a Tabela 10. Nas áreas 5, 6, 10 e 15 apresentaram textura franco arenosa, com mais de 63% de areia, e argila e silte com menos de 22% e 15%, respectivamente. O sedimento depositado apresenta a mesma composição textural do solo do desbarrancamento marginal das áreas estudadas, evidenciando que o solo está sendo transportado para o reservatório.

Avaliando a matriz de Scatterplots dos parâmetros físicos das amostras de solo do desbarrancamento marginal com os sedimentos do reservatório da usina, verificam-se comportamentos comuns entre as variáveis AG e AF; e S e ARG, conforme Figuras 13 e 14. A AG correlacionou negativamente com AF e apresentou uma linearidade negativa, tanto nos parâmetros físicos das amostras de solo do desbarrancamento marginal quanto para os sedimentos ($r = -0,63$, $p < 0,05$) e ($r = -0,65$, $p < 0,05$), respectivamente, conforme Figuras 13 e 14. Para maiores valores de AG, foram encontrados menores valores de AF. Williams *et al* (1976) e Silva (1996) verificaram que a areia grossa dos bancos de areia correlacionou negativamente com os parâmetros físicos (areia fina, silte e argila) dos sedimentos, no Lago Erie, em Ontário, no Canadá e no rio Tietê, no Estado de São Paulo, respectivamente.

O S correlacionou positivamente com ARG, tanto nos parâmetros físicos das amostras do solo do desbarrancamento marginal quanto para os sedimentos ($r = 0,89$, $p < 0,05$) e ($r = 0,99$, $p < 0,05$), respectivamente, conforme Figuras 13 e 14. A deposição de sedimentos finos ou coesivos como silte e a argila (com diâmetro menor que $< 0,65$ mm), nos pontos coletados, ocorre devido à baixa velocidade das águas do reservatório, corroborando com Santos (2015).

Figura 14 – Matriz de Scatterplots para as variáveis físicas do solo do desbarrancamento da Usina Hidrelétrica de Luiz Gonzaga/PE.

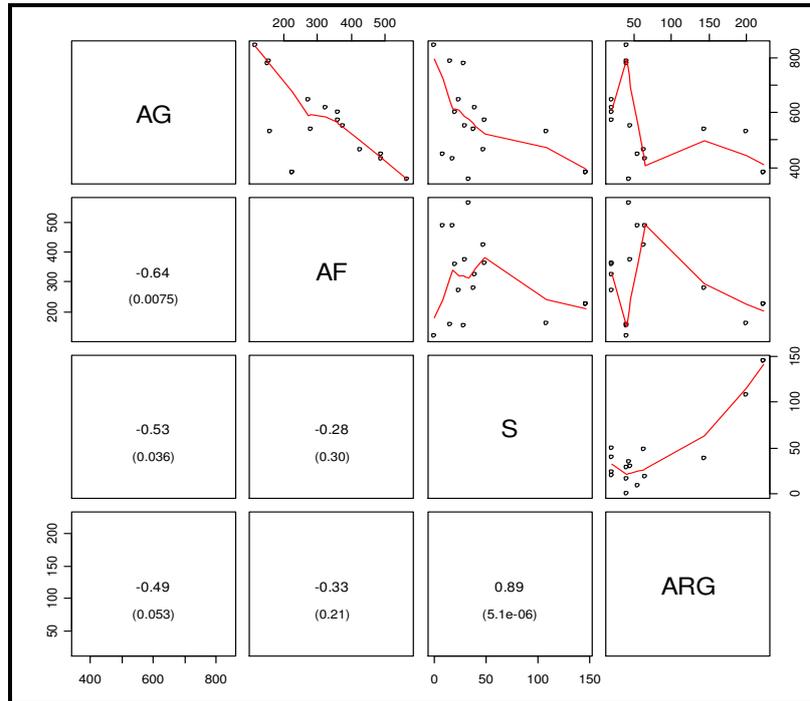
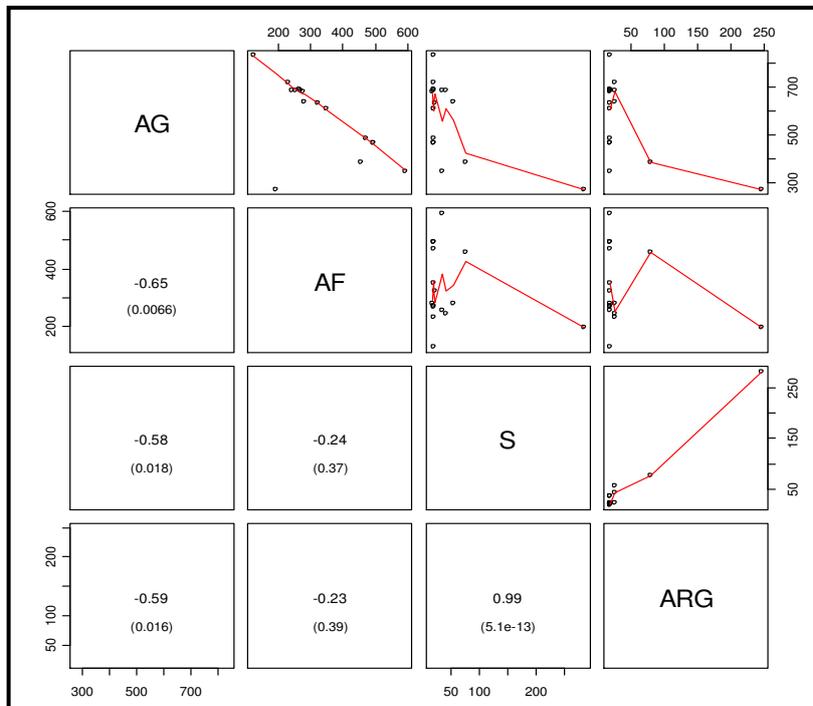


Figura 15 – Matriz de Scatterplots para as variáveis físicas dos sedimentos do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga/PE.



Os sedimentos, uma vez presentes no ecossistema aquático, passam a ter um papel importante para a biota através do fornecimento de nutrientes e energia. Além disso, os sedimentos cumprem função de regulação da qualidade da água por sua capacidade de reter e liberar poluentes (GOLTERMAN *et al.*, 1983). Entretanto, podem prejudicar os usos múltiplos da água, interferir na penetração da luz e calor dos corpos hídricos necessários para a fotossíntese e salubridade dos corpos hídricos. Além de atuar como portadores de outros poluentes e causar abrasão em equipamentos eletromecânicos e estruturas hidráulicas, segundo Carvalho (2008).

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em conformidade com a metodologia adotada e os resultados encontrados, obtidos, conclui-se:

- Os solos nas áreas do entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga foram classificados como, Neossolo Regolítico Eutrófico (RRe), na área 1; Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), nas áreas 2, 3, 12, 13 e 4; Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), nas áreas 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 16; Luvisolo Crômico Órtico (TCo), na área 5 e Planossolo Háptico Eutrófico (SXe), na área 15.

No geral, os horizontes estudados apresentaram fração areia com percentual alto, em média, superior a 500 g.cm^{-3} , evidenciando que a textura arenosa dos solos promove uma maior porosidade e maior suscetibilidade à erosão.

- A perda de solo nas áreas estudadas variou de 85,00 a 205,20 $\text{kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo próximas dos limites de tolerância da literatura.

- A perda de solo do desbarrancamento marginal no entorno do reservatório variou do nível muito baixo ($< 6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) a nível moderado (11 a 22 $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). Destaca-se, ainda, que os atributos físicos das áreas experimentais estudadas imprimem fragilidade, sobretudo no que tange à suscetibilidade ao assoreamento do reservatório em longo prazo, evidenciando a necessidade de técnicas de bioengenharia para alargar a vida útil do reservatório da usina.

Este trabalho pode vir a servir de ponto de partida para outros estudos gerando assim mais conhecimento científico sobre o monitoramento de processos erosivos em reservatórios de hidrelétricas. O último tópico da presente dissertação sugere algumas possibilidades de continuidade de estudos nesta linha de pesquisa. As recomendações para trabalhos futuros são as seguintes:

Realizar Levantamento batimétrico no reservatório da usina Hidrelétrica Luiz Gonzaga para verificar o quanto o aporte do sedimento está comprometendo a vida útil do reservatório.

Realizar levantamento dos parâmetros meteorológicos como vento, precipitação pluviométrica e evapotranspiração e verificar a sua influencia para os processos erosivos instalados nas áreas do entorno do reservatório.

Realizar estudos de bioengenharia para propor soluções do controle da erosão do desbarrancamento marginal do reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIESP. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Glossário de ecologia. **ACIESP**, n. 57, 1987.

ALMEIDA FILHO, G. S.; REZENTE JÚNIOR, J. L. Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão. Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; REIS JUNIOR, D. S. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 135-149, abr./jun., 2013.

AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos para predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. 2004. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, UFV.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco**: Subprojeto 4.5 C – Plano 163 Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco PBHSF (2004-2013). Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF – Nº 10, Versão 1.0. Relatório Final: versão preliminar do plano decenal da bacia do rio São Francisco. Brasília: ANA, 2004.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sistema de informações georreferenciadas de energia e hidrologia**. Brasília: ANEEL, 2000. (CD-ROM).

ARAGÃO, R. et al. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 731-740, 2011.

ARAÚJO FILHO, J. C. et al. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. **Boletim de Pesquisa Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, n. 11, p. 378, 2000.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

ARAÚJO, L. C. M. **Análise da susceptibilidade à erosão dos solos da Estação Ecológica de Aiuaba – CE**. 2005. 145f. .Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. 2005.

BAKKER, M. M. et al. Soil erosion as a driver of land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 105, p. 467–481, 2005.

BARBOSA, A. C. C. **Recuperação de área degradada por mineração através da utilização de sementes e mudas de três espécies arbóreas do Cerrado, no Distrito Federal**. 2008. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, UNB, DF, 2008.

- BARUQUI, A. M. Comentários sobre a descrição e resultados analíticos de um perfil de solo. **Informe Agropecuário**, v. 9, n. 105, 1983.
- BASTOS, C. A. B. et al. Avaliação da erodibilidade de perfis de solos residuais da Grande Porto Alegre. 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG), 1998.
- BAYER, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. *FERTBIO*, 26., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 657-668, 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.
- BIGARELLA, J. J. et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.
- BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management**. Amsterdam: Springer, 2008.
- BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. [S.l.]: Bookman Companhia, 2012.
- BROOKS, K. N. et al. **Hidrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília FINATEC, 2006.
- CANTALICE, J. R. B. **Escoamento e erosão em sulcos e entressulcos em distintas condições de superfície do solo**. 2002. 141f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. UFRG, 2002.
- CARDOSO, D. P. et al. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 25-37, 2004.
- CARLSTRON FILHO, C. et al. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatórios (II) Reservatório de Passo Real e Ernestina (RS). In: CBGE, 3, Itapema (SC). **Anais...** São Paulo: ABGE, 1981.
- CARNEIRO, G. T. **Suscetibilidade à erosão laminar na área do reservatório da usina hidrelétrica de Cana Brava - Minaçu - Goiás: impactos ambientais e saúde**. 2007. 159f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) - Universidade Católica de Goiás, Minaçu. UCG, 2007.

CARNEIRO, V. A.; PAULO, P. O.; MELO, E. M. L. Paisagens degradadas do município de Palmelo (Goiás): o estudo das voçorocas via trabalho de campo. **GeoTextos**, v. 10, p. 179-207, 2014.

CARVALHO, D. F. *et al.* Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CARVALHO, F. L. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de doses e formas de manejo do resíduo cultural de trigo na redução da erosão hídrica do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 13, p. 251-257, 1990.

CARVALHO, J. C. **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília - FINATEC, 2006.

_____; LIMA, M. C.; MORTARI, D. **Considerações sobre controle e prevenção de voçorocas**. Goiânia: 7º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, ABGE, 2001.

CARVALHO, N. O. **Assoreamento de reservatórios**: consequências e mitigação dos efeitos. Santa Maria: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2008.

_____. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CASSETI, V. Geomorfologia. [S.l.: s.n.], 2005. Disponível em: <www.funape.org.br/geomorfologia>. Acesso em: 24 nov. 2014.

CASSOL, E. A. *et al.* Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, n. 3, p. 220-231, 2007.

_____. LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CHESF. Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Departamento de meio ambiente. **Mapeamento e monitoramento dos processos erosivos nas encostas da Usina Hidrelétrica de Itaparica**. Recife: CHESF, 2013.

_____. CHESF. Coordenadoria de Sustentabilidade Empresarial. **Relatório Socioambiental**. Recife: CHESF, 2011.

COELHO, M. R. *et al.* O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V. *et al.* **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2002.

COLLINS, A. L. *et al.* The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. **Catena**, v. 79, n. 3, p. 243-250, 2009.

CONCEIÇÃO, J. R. da. **Metodologia para identificação de áreas prioritárias para redução da erosão hídrica em bacias de mananciais de abastecimento público do Paraná**: estudo de caso bacia do Passaúna. 2014. 94p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) - Universidade Federal de Paraná. Curitiba: UFPA, 2014.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B.; BAPTISTA, M. M. Avaliação fitossociológica da sucessão autogênica em áreas mineradas no Distrito Federal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 406-415, 2007.

CORTEZ, J. R. **Desempenho de modelos numéricos em estudos de assoreamento de reservatórios – caso UHE Aimorés**. 2013. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental). Escola de Engenharia da Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte: UFMG, 2013.

COSTA, C. D. O. **Perdas de solo e deposição de sedimentos em duas sub-bacias hidrográficas no entorno da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP**. 2013. 151f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. Botucatu – SP. 2013.

CUNHA, A. C. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. **Biota Amazônia**, v. 3, p. 124-143, 2013.

DERPSCH, R. *et al.* **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina: GTZ/Iapar, 1991.

DESCROIX, L. *et al.* Gully and sheet erosion on subtropical mountains slopes: Their respective roles and the scale effect. **Catena**, Amsterdam, v. 72, p. 325-339, 2008.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: _____; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV/DS/SOBRADE, 1998.

EAKIN, H. M. Silting of reservoirs, revised by Carl Brow. C.B. US DeptAgricultura, **Tech Bulletin**, n. 524, p. 90-167, 1939.

ELTZ, F. L. F.; ROVEDDER, A. P. M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no sudeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Agrocência**, v. 11, n. 2, p. 193-200, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: Embrapa-SPI. 1995.

_____. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**: critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro: Embrapa, 1988.

_____. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos, 1997.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2006.

_____. **Relatório da FAO com participação da Embrapa revela que 33% dos solos do mundo estão degradados.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>. Acesso em: 10 mar. 2016.

FALLEIRO, R. M. *et al.* Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 953-964, 2004.

FAO. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Forest Resources Assessment 1990: Global Synthesis.** FAO Forestry, Paper 124. Rome: FAO, 1995.

FAO e ITPS. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. **Status of the World's Soil Resources.** Rome:Italy, 2015.

FENDRICH, R. *et al.* **Drenagem e controle da erosão urbana.** 4. ed. Curitiba: Editora Universitária Champagnat, 1997.

FIOCK, L. R. Records of silt carried by the Rio Grande and its accumulation in elephant butte reservoir. **Transactions Geophysical American Union**, v. 15, p. 468-473, 1934.

FREIRE, E. P. **Ensaio Inderbitzen Modificado:** um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. Goiânia: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2001.

FRENZEL, A. **Medidas preventivas contra processos erosivos.** Curitiba: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1980.

FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP.** 2012. 86f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria: Rio Grande do Sul, 2012.

GALINDO, I. C. L. *et al.* Relações solo-vegetações em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1283-1296, 2008.

GIMENEZ, A. F. *et al.* Metodologia de estudo de assoreamento de reservatórios (I) Reservatório de Capivari (PR). In: CBGE, 3, Itapema (SC). **Anais...** São Paulo. ABGE. 205-224p.

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY - GEF. Operational Program on Sustainable Land Management. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <http://gefweb.org/Operational_Policies/Operational_Programs/OP_15_English.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2012.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer 10 Quick Start Guide Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. 2011. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com>>. Acesso em: 07 dez. 2015.

GOLTERMAN, H. L.; SLY, P. G.; THOMAS, R. L. 1983 Study of the Relationships Between Water Quality and Sediment Transport. A Guide for the Collection and Interpretation of Sediment Quality Data. **Technical Papers in Hydrology**, Paris, n. 26, 1983.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

GROVER, H. G.; HOWARDS, C. S. The passage of turbid water through lake mead. **TranASCE**, p. 720-736, 1938.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. In: _____. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 16, p. 32-37, 2005.

_____. Processos erosivos nas encostas. In: _____. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

_____; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

_____; VITTE, A. C. **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

JACOMINE, P. K. T. *et al.* Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado de Sergipe. **Boletim Técnico**, Recife, 1975b.

_____. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado do **Boletim Técnico**, Recife, p. 531, 1971.

_____. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. **Boletim Técnico**, Recife, v. 1, p. 359, 1973b.

_____. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco: Descrição de perfis de solos e análises. **Boletim Técnico**, Recife, v. 2, p. 354, 1972a.

_____. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. **Boletim Técnico**, Rio de Janeiro, p. 650, 1972b.

_____. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do estado de Alagoas. **Boletim Técnico**, Recife, n. 35, p. 532, 1975a.

_____; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará**. Recife: Ministério da Agricultura / Sudene, 1973a. v. 2.

JANZEN, H. H. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world?. **Canadian Journal of Science**, Toronto, v. 85, n. 4, p. 467-480, 2005.

JUNQUEIRA, K. R. Estabilidade de agregados de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem e Mata Alta em Baliza-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p. 2-4, 2010.

KER, J. C. *et al.* **Cerrados: solos, aptidão e potencialidade agrícola**. In: Simpósio sobre Manejo e Conservação do Solo no Cerrado. Goiânia: Fundação Cargill, 1990.

LAWS, J. O. Recent studies in raindrops and erosion. **Agriculture Engineering**, St. Joseph,

v. 21, p. 431-433, 1940.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa - CNPS, 1996.

LOPES, J. W. B.; ARAÚJO NETO, J. R. de; PINHEIRO, E. A. R. Produção de sedimentos e assoreamento em reservatório no semiárido: o caso do açude Marengo, Ceará. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, n. 24, p. 16-31, 2015.

MACARTHUR, R. C. *et al.* Overview of Sedimentation Engineering. In: _____. **Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice** – ASCE, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2008.

MAIA, A. G. **As consequências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens**. 2006. 271f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos: USP, 2006.

MARTINS FILHO, F. M. **Balço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos novos**. 2014. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciências Hidráulicas e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP. 2014.

MARTINS, S. G. *et al.* Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 395-403, 2003.

MEDEIROS, L. C. de *et al.* Caracterização físico química de um neossolo litólico na região Seridó do RN. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 9, n. 4, p. 1-7, 2013.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. Australia, Blackwell Science, 2009.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir Sedimentation Handbook**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1998.

MOTA, F. O. B. **Mineralogia de solos da região semiárida do estado do Ceará**. 1997. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba – SP. 1997.

NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F. Extração sequencial de Mn e Zn em solos em função do pH e adição de cama-de-frango. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 240-249, 2009.

NOFFS, P. S.; GALLI, L. F.; GONÇALVES, S. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: uma experiência da CESP Companhia Energética de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2000.

OLIVEIRA, F. P. *et al.* Tolerância de perda de solo por erosão para o estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 60-71, 2008.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

OLIVEIRA, L. B. *et al.* Morfologia e classificação de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1333-1345, 2009.

PABLO, Y. M. C. **Quantificação experimental da alteração no balanço hídrico e erosão em um neossolo quartzarênico devido à substituição de pastagem por cana-de-açúcar.** 2013. 154f. Tese (Doutorado em Engenharia de Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

PANACHUKI, E. *et al.* Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PERALTA, M. P. **Uso, clasificación y conservación de suelos.** Chile: Servicio Agrícola y Ganadero, 1976.

PEREIRA, A. R. **Determinação da perda de solo:** boletim técnico nº 001. Belo Horizonte: FAPI, 2006.

PEREIRA, S. *et al.* Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.423-429, 2003.

PIMENTEL, D. *et al.* Environmental and economic costs of soil erosion an conservation benefits. **Science**, Washington, v. 267, p. 1117-1123, 1995.

PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, M. L.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos. **Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. 20, n. 2, p. 157-175, 2008.

PITTELKOW, G. C. **Erosão em estrada de terra no Campo de Instrução de Santa Maria (CISM).** 2013. 115f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

PONÇANO, W. L. *et al.* Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro. In: Congresso Brasileiro Geologia de Engenharia Ambiental, 3, Itapema (SC), **Anais...** São Paulo, ABGE, v. 2, p. 331-353, 1981.

PORTO, R. P. A erosão dos solos no Rio Grande do Sul. In: _____. **Política e meio ambiente.** Porto Alegre: Mercado Aberto, 1986.

PRADO, W. L.; VEIGA, M. D. **Relacion entre erosion y perdida de fertilidad del suelo.** Santiago: FAO, 1994.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água:** práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica. 2. ed. Viçosa: UFV, 2010.

RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento Exploratório de Solos.** Folha SC.24/25 Aracaju / Recife: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres Potafos, 1991.

REINERT, J. D.; REICHERT, M. J. Propriedades físicas do solo. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/fisica_e_genese/Graduacao/Fisica/Propriedades_fisicas_do_solo_I_semestre_2006.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2015.

RENARD, K.G. Foster, G.A. Weesis, D. K. McCool. **Predicting soil erosion by water: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington: US Gov. Print Office, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703). Disponível em: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf. Acesso em 05 mar..2016.

RHODEN, A. C. *et al.* Relações entre as características de solos de várzeas e absorção de nitrogênio pelo arroz irrigado em dois cultivos sucessivos em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 3, p. 325-331, 2006.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

SÁ, I. B. *et al.* Mapeamento da desertificação da Região de Desenvolvimento Sertão do São Francisco com base na cobertura vegetal e nas classes de solos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 510-524, 2015.

SÁ, M. A. C. Erosão do solo: mecanismos e controle. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.fazendasmt.com.br/artigos/imprimir.php?id=14>>. Acesso em: 24 nov. 2014.

SAGYP. INTA. **Atlas de suelos de la República Argentina**. Buenos Aires: Proyecto PNUD Arg-85/019, 1990.

SANTOS, B. S. **Estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Mogi-Guaçu (SP)**. São Carlos, SP. 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade Federal de São Paulo, 2015.

SANTOS, J. C. B. S. *et al.* Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, 2012.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10. ed. Porto Alegre: Editora dos editores, 2004.

SCARPINELLA, G. A. de. Erosão em carregadores da cultura da cana-de-açúcar: estudo de caso na bacia do Ribeirão do Feijão (SP). São Carlos, SP. 2012. 219p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, 2012.

SCHICK, J. *et al.* O. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 437-447, 2000.

SCOPEL, I. et al. Formação de areais e perspectivas de uso e manejo de Neossolos quartzarênicos em Serranópolis (GO). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 25, n. 1-2, p. 11-17, 2005.

SILVA JÚNIOR, A. M. *et al.* Carbono orgânico em diferentes sistemas de manejo no Triângulo Mineiro. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 15. 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004.

SILVA JUNIOR, C. A.; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 566-572, 2012.

SILVA, A. M. *et al.* Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005.

_____; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2. ed. São Carlos: Editora RIMA, 2007.

SILVA, I. S. **Distribuição vertical e fracionamento químico de fósforo em sedimentos do rio Tietê (região de Pirapora do Bom Jesus, São Paulo)**. São Paulo, SP. 1996. 65p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências. Universidade Federal de São Paulo, 1996.

SOUZA, A. D. **Indicadores de sustentabilidade em sistemas agroecológicos por agricultores familiares do semiárido cearense**. Mestrado (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Ceará (UFC), 104p, 2006.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas**, Guanhães, MG. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Viçosa: UFV, 2005.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil Erosion: processes, prediction, measurement, and control**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

VALLADARES, G. S. *et al.* Caracterização de solo brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra**, v. 20, n. 1, p. 95-104, 2008.

VILAR, O. O.; PRANDI, E. C. **Erosão dos solos: solos do interior de São Paulo**. São Carlos: ABMS e USP, 1993.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e Assoreamento. In: SANTO, R. F. (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

WILLIAMS, J. D. H., JEQUER, J. M.; TSOUAS, R. L. Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie. **J. Fish. Res. Board Can**, v. 33, p. 429-413, 1976.

YOUNG, R. A. *et al.* Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, p. 165-169, 1986.

YU, L.; RIGHETTO, A. M.; MARTINS, R. P.; ROSMAN, P. C. C.; EIGER, S. **Métodos numéricos em recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999.

ZACHAR, D. **Soil erosion**. New York: Elsevier Scientific. Developments in Soil Science. 1982.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 487-495, 2007.