

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA

COMO AS ONDAS GERADAS PELO VENTO E AS CARACTERÍSTICAS
DA VEGETAÇÃO CILIAR INFLUENCIAM EROSÕES EM MARGENS DE
RESERVATÓRIOS: UHE PORTO COLÔMBIA, UM ESTUDO DE CASO.

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO D'ARMADA

Itajubá, dezembro de 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE ENERGIA

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO D'ARMADA

Engenheiro Civil

COMO AS ONDAS GERADAS PELO VENTO E AS CARACTERÍSTICAS
DA VEGETAÇÃO CILIAR INFLUENCIAM EROSÕES EM MARGENS DE
RESERVATÓRIOS: UHE PORTO COLÔMBIA, UM ESTUDO DE CASO.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção
do título de **Mestre em Engenharia da Energia**.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Orientador: Prof.º Dr. Augusto Nelson Carvalho Viana

Itajubá, dezembro de 2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

D811c

d'Armada, Júlio César Ribeiro

Como as ondas geradas pelo vento e as características da vegetação ciliar influenciam erosões em margens de reservatórios: UHE Porto Colômbia, um estudo de caso / Júlio César Ribeiro d'Armada. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2012.

77 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Nelson Carvalho Viana.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Hidrelétrica. 2. Reservatório. 3. Erosão. 4. Margem. 5. Onda. I. Viana, Augusto Nelson Carvalho, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO D'ARMADA
Engenheiro Civil

COMO AS ONDAS GERADAS PELO VENTO E AS CARACTERÍSTICAS
DA VEGETAÇÃO CILIAR INFLUENCIAM EROSÕES EM MARGENS DE
RESERVATÓRIOS: UHE PORTO COLÔMBIA, UM ESTUDO DE CASO.

Dissertação aprovada por banca examinadora em 17 de
dezembro de 2012, conferindo ao autor o título de Mestre
em Engenharia de Energia.

Banca Examinadora:

Prof. Augusto Nelson Carvalho Viana (Orientador)
Prof. Arcilan Trevenzoli Assireu
Prof. Roberto de Almeida Alves

Itajubá, dezembro de 2012

*Dedico esse trabalho à minha esposa:
Patrícia,
pois que tu és já toda minha vida.*

Agradeço

À FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A pelo incentivo ao aprendizado.

À UNIFEI, especialmente aos professores Augusto Nelson Carvalho Viana e Arcilan, Trevenzoli Assireu, pelo compromisso com a missão de gerar, preservar e difundir conhecimento.

Aos meus maiores Mestres: Carlito e Dirce que me ensinaram a aprender, viver e sonhar.

RESUMO

A geração de energia por aproveitamentos hidrelétricos, apesar de ser uma matriz considerada limpa e renovável, apresenta seus maiores impactos durante a implantação do empreendimento e, sobretudo, de seus reservatórios artificiais. Passados os efeitos e atenções principais da época da construção das usinas, ao longo dos anos de operação, os reservatórios continuam como potenciais geradores de impacto ambiental. Fica evidente a importância do tema sabendo que, no Brasil, a extensão das orlas de seus reservatórios é muito superior a sua costa oceânica. No presente trabalho destacam-se aspectos pertinentes aos temas “Reservatórios” e “Meio Ambiente”, explorando a correlação entre as características físicas e operacionais do reservatório da UHE Porto Colômbia, as condições do vento predominante na região, os efeitos erosivos em suas margens e as características da vegetação ciliar. Para tanto, buscou-se contribuições junto à literatura especializada e a memória técnica do empreendimento, que serviram de referencial teórico e orientaram a formulação das hipóteses para o estudo. Com o alicerce teórico e os dados técnicos levantados, o estudo apontou teoricamente a susceptibilidade aos processos erosivos para as regiões da orla do reservatório, pela influência das ondas formadas pelo vento. Completando o trabalho, buscou-se a validação das hipóteses, quando os resultados do modelo teórico foram confrontados com os levantamentos de campo, que investigaram a evolução dos processos erosivos e demais características das margens, em especial quanto à ocupação da orla e a manutenção da vegetação ciliar, após mais de três décadas de operação do reservatório. Destaca-se também que esse estudo está imbuído de um significado maior, propondo ações proativas para a identificação e o tratamento preventivo dos impactos ambientais, onde a preservação das margens dos reservatórios é concebida como pré-requisito para a viabilidade de um projeto de central hidrelétrica.

Palavras Chave: Hidrelétrica, Reservatório, Erosão, Margem, Onda.

ABSTRACT

Power generation by hydroelectric plants, despite having a matrix considered clean and renewable energy, has its greatest impact during the implementation of the project and especially its artificial reservoirs. After main effects and attentions of the epoch of power plants construction, over the years of operation, the reservoirs remain as potential generators of environmental impact. It is evident the importance of the subject because in Brazil the extension of edges of their reservoirs is far superior to its ocean shore. In this paper two relevant themes stand out: "reservoirs" and "Environment", exploiting the correlation between the physical and operational characteristics of the reservoir of HPP Porto Colombia, the wind conditions prevailing in the region, the effects of erosion on its edges and characteristics of riparian vegetation. To this end, this work has sought contributions from literature and technical documents from the plant, which served as the theoretical framework and guided the formulation of the hypotheses for the study. With the theoretical foundation and technical data collected, the study pointed out theoretically susceptibility to erosion processes to regions bordering the reservoir, from the influence of waves formed by the wind. Complementing this, the study sought to validate the hypothesis, when the results of the theoretical model were compared with field surveys, which investigated the evolution of erosion of margins and other characteristics, especially regarding the occupation of the waterfront and the maintenance of vegetation ciliary, after more than three decades of reservoir operation. Also noteworthy is that this study is imbued with greater meaning, proposing proactive actions in the identification and preventive treatment of environmental impacts, where maintaining the margins of reservoirs is designed as a prerequisite for the feasibility of a hydroelectric project.

Keywords: Hydro, Reservoir, Erosion, Margin, Wave.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Definição do Problema	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Questões e Suposições do Estudo	4
1.4 Justificativa para Escolha do Tema	4
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 Esforços Atuantes na Orla de Reservatórios	5
2.2 Metodologia para Estimativa da Altura de Onda em Reservatórios	6
2.3 Importância da Vegetação Ciliar	10
2.4 Aspectos Regulamentares Relativos à Vegetação Ciliar	13
3 ÁREA DE ESTUDO	15
3.1 Forma do Reservatório	17
3.2 Condições Topográficas e Geológicas	17
3.3 Condições Operacionais do Reservatório	19
3.4 Ocupação da Orla	22
3.5 Velocidade e Direção Predominante do Vento	25
4 METODOLOGIA	28
4.1 Modelo Teórico	29
4.1.1 Escolha dos Pontos para o Estudo	29
4.1.2. Cálculo das Pistas Efetivas e Estimativa para Alturas de Ondas	31
4.2. Levantamento de Campo	32
4.2.1 Programa de Investigação de Campo	32
4.2.2 Amostragem	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1. Pistas Efetivas e Alturas de Ondas	34
5.2 Evolução das Erosões e Ocupação da Margem	35
5.3 Análise da Correlação: Onda, Desgaste e Ocupação	39
5.4 Limitações do Modelo	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	43
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ANEXO A	48
ANEXO B	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 – Geometria Fractal e de Reservatórios	2
Figura 2.1 – Ação das Ondas em Margem de Reservatório	6
Figura 2.2 – Método para o Cálculo do Comprimento Efetivo	8
Figura 2.3 – Relação da Velocidade de Vento sobre a Terra e Água	11
Figura 3.1 – Fotografia Aérea da UHE Porto Colômbia	15
Figura 3.2 – Mapa Geológico Simplificado da Região	18
Figura 3.3 – Variações dos Níveis Médios ao Longo do Ano	21
Figura 3.4 - Permanência de Níveis e Relação com Área Alagada	21
Figura 3.5 - Imagem do reservatório da UHE Porto Colômbia	22
Figura 3.6 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo	23
Figura 3.7 – Edificações para Lazer	24
Figura 3.8 – Ocupação da Margem com Agricultura	24
Figura 3.9 – Ocupação da Margem com Pecuária	25
Figura 3.10 – Velocidade e Direção do Vento, Média Anual	26
Figura 3.11 – Direção e Velocidade do Vento, Frequências Anuais	27
Figura 4.1 - Comparação das equações para as condições do local estudado	28
Figura 4.2 - Pontos adotados inicialmente com a incidência média anual	30
Figura 4.3 – Pontos Adotados para o Estudo Final	31
Figura 4.4 - Exemplo Medição de Pista para Ponto 23, a 45 graus	31
Figura 5.1 – Mapa Geral com a ocupação e escalas de ondas e erosões	40
Figura 5.2 – Avaliação do Modelo, Desgaste x Altura das Ondas x Ocupação	41
Figura 5.3 – Impacto às margens pela atividade de pecuária	42
Figura 5.4 – Resistência localizada ao desgaste da margem imposta por Bacuris	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Dimensões Estimadas de Reservatórios e Referências	1
Tabela 3.1 - Dados Técnicos da UHE Porto Colômbia	16
Tabela 3.2 – Inclinações Transversais da Região	19
Tabela 3.3 – Ocupação da Área de Influência	24
Tabela 3.4 – Velocidade e Direção Predominante do Vento	27
Tabela 5.1 - Pistas efetivas por ponto e direção predominante do vento	34
Tabela 5.2 – Onda Máxima e Média Ponderada	34
Tabela 5.3 – Exemplo de dados coletados em campo	36
Tabela 5.4 – Resultado da investigação de campo	37
Tabela 5.5 – Comparação de Onda Ponderada, Desgaste e Ocupação da Orla	39
Tabela 5.6 – Características dos Pontos Críticos	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 Definição do Problema

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo que a geração interna hidráulica responde por montante superior a 76% da oferta, conforme o Balanço Energético Nacional 2010, da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (EPE, 2010).

Ser favorecido por recursos naturais que se transformam em fontes de produção de energia é estratégico para qualquer país. Entre outros fatores, porque reduz a dependência do suprimento externo e, em consequência, aumenta a segurança quanto ao abastecimento de um serviço vital ao desenvolvimento econômico e social. No caso dos potenciais hídricos, a esses argumentos favoráveis, somam-se outros dois: o baixo custo do suprimento e o fato de a operação das usinas hidrelétricas não provocar significativa emissão de gases causadores do efeito estufa (BARROS et al, 2011), na comparação com outras fontes, tais como carvão, petróleo, urânio e gás natural, por exemplo. A energia hidrelétrica é classificada como limpa no mercado internacional (ANEEL, 2008).

No entanto, a implantação das usinas hidrelétricas geram consideráveis impactos na vida da população, na flora e fauna locais, por interferirem no traçado e condições naturais dos rios, criando reservatórios artificiais e novas áreas alagadas e suas extensas orlas, nem sempre preparadas para a nova condição.

A gravidade do problema pode ser avaliada em função do grande número de usinas hidrelétricas em operação no Brasil, cuja área total dos reservatórios é superior aos territórios de Israel e Palestina juntos, e a extensão de suas margens supera a da costa oceânica brasileira. Como parâmetro, a Tabela 1.1 apresenta a estimativa das dimensões totais dos reservatórios, com as citadas referências.

Tabela 1.1 – Dimensões Estimadas de Reservatórios e Referências

Usinas Hidrelétricas Brasileiras - Dimensões de Reservatórios e Referências			
Extensão (km)		Área (km ²)	
Perímetro Total dos Reservatórios	65.000	Área Alagada dos Reservatórios	35.000
Costa Brasileira, com reentrâncias.	9.200	Territórios de Israel e Palestina	28.165

Como exemplo da magnitude dessas dimensões, apenas o reservatório da UHE Furnas possui em torno de 1.400 km² de área e 3.500 km de perímetro (FURNAS, 2011).

A grande extensão de margens é explicada pela geometria típica dos reservatórios, com suas diversas ramificações sobre a calha do rio principal e de seus afluentes, comparável à formação fractal (objetos geométricos formados por repetições de padrões similares), conforme mostrada a Figura 1.1.

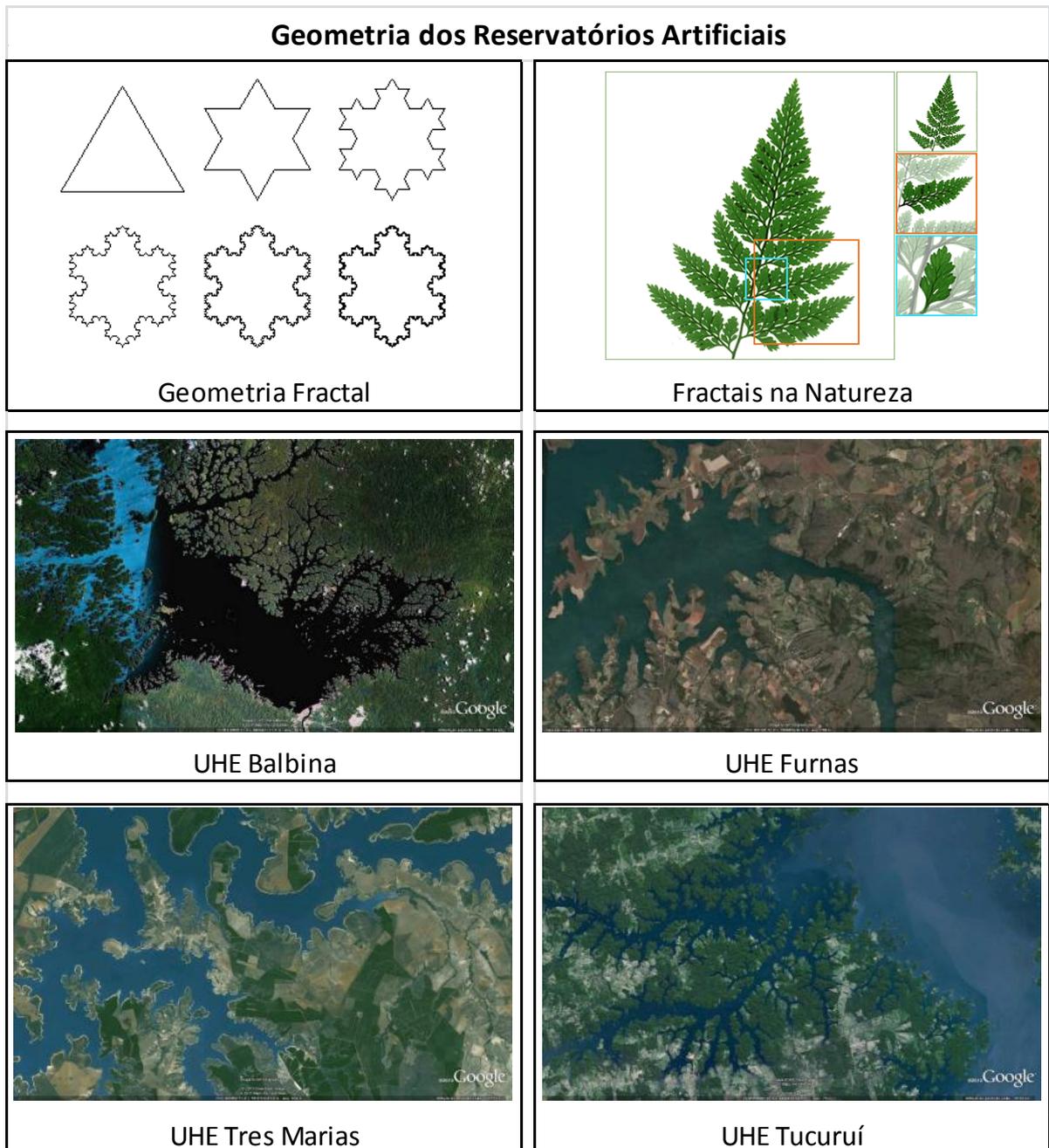


Figura 1.1 – Geometria Fractal e de Reservatórios – Imagens obtidas em Google, 2010.

Assim, implantado o reservatório, as áreas marginais ficam sujeitas às novas condições físicas, sujeitas às ações do lago, e tornam-se novas Áreas de Preservação Permanente - APP. No entanto, os efeitos das condicionantes regulamentares, muitas vezes, são morosos e incertos, não propiciando o equilíbrio ambiental desejado, frente aos efeitos das novas condições físicas, que são imediatos. Dessa forma, diversos tem sido os registros de avanço de erosões nas faixas marginais dos reservatórios, também com diversas suposições para suas causas.

Os principais agentes de erosão são o embate de ondas, o escoamento superficial e a elevação do lençol freático. Dentre esses agentes, o embate de ondas constitui-se no processo erosivo mais devastador e ocorre principalmente em grandes reservatórios, cuja extensa área superficial apresenta *fetchs* (corredores e/ou pistas de ventos) significativos e propícios à geração de ondas por vento (SIQUEIRA et al, 2011).

As dimensões do reservatório, suas características topográficas e os regimes de ventos (direção, intensidade, duração) determinam as condições de formação das ondas. A ação das ondas causa transformações na linha de margem por meio de processos de abrasão e ruptura dos taludes, cuja maior ou menor taxa de avanço está associada às características geológico-geotécnicas das encostas, da posição do lençol freático (que pode gerar instabilidades e desencadear escorregamentos em taludes), da configuração do relevo e do uso e ocupação das margens (eliminação da vegetação, implantação de loteamentos, construção de edificações diversas, execução de drenagens mal concebidas, entre outros) (SIQUEIRA et al, 2010) .

Nesse cenário, o estudo foca a susceptibilidade das margens de reservatórios aos processos erosivos causados pelas ondas geradas pela ação dos ventos e a influência da ocupação da orla e a manutenção da vegetação ciliar.

1.2 Objetivos

Os objetivos desse trabalho são, de maneira geral e específica, descritos a seguir:

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é verificar a susceptibilidade das margens de reservatórios a processos erosivos, a partir de uma situação real verificada na UHE Porto Colômbia. Para isso

foi utilizado um modelo teórico onde se considerou a ação de ondas, influenciadas pelos fatores forma do reservatório e características dos ventos predominantes.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Investigar a situação real do reservatório da UHE Porto Colômbia, analisando, nos pontos estudados, a influência da vegetação de proteção ciliar na evolução dos processos erosivos.

b) Fornecer subsídios para ações preventivas e corretivas.

c) Fornecer informações para novos estudos

1.3 Questões e Suposições do Estudo

A Questão do estudo é a possibilidade de identificação dos locais das margens do reservatório de maior susceptibilidade aos processos erosivos, por meio de modelo teórico, considerando os seguintes pressupostos:

- ✓ A maior incidência de ondas é nas margens opostas à direção do vento predominante e em proporções diretamente relacionadas à maior extensão do reservatório, nesse sentido.
- ✓ A evolução de processos erosivos é diretamente proporcional à incidência de ondas.
- ✓ A existência de vegetação ciliar reduz a evolução dos processos erosivos.

A partir dessas premissas, este estudo pretende utilizar o modelo teórico para verificar a susceptibilidade das margens do reservatório e a influência das características da vegetação ciliar frente aos processos erosivos. Além disso, outros fatores também colaboram para a vulnerabilidade das margens aos processos erosivos, entre eles, a depleção de nível do reservatório, as características topográficas e geológicas das margens. Esses fatores serão também avaliados para os pontos estudados e como será mostrado, a baixa variabilidade destes fatores, motivaram a escolha da UHE Porto Colômbia para o estudo.

1.4 Justificativa para Escolha do Tema

A escolha do tema justifica-se pela evolução da consciência de preservação ambiental que preceitua a prevenção e mitigação de passivos ambientais para a viabilidade dos empreendimentos de geração hidrelétricos.

A implantação de um reservatório, por si, já configura o maior impacto de uma central hidrelétrica. As áreas alagadas sofrem impactos irreversíveis, entretanto as margens do lago criado, se estáveis, permitirão a formação de uma extensa área de preservação permanente.

Sobre essas áreas deve-se buscar o maior equilíbrio possível, sendo primordial sua integridade frente aos processos erosivos causados pelo próprio lago.

Dessa forma, o tema torna-se oportuno sugerindo a prévia avaliação dos impactos nas margens dos reservatórios, permitindo a intervenção, com os recursos de engenharia, buscando a estabilidade e conservação dessa nova área de preservação permanente.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Esforços Atuantes na Orla de Reservatórios

Num reservatório de grandes dimensões, como os utilizados para geração de energia elétrica no país, alguns fatores exercem esforços significativos no lago. Dentre estes fatores, as ondas são o principal agente modelador das margens dos reservatórios, em virtude dos esforços constantes e o transporte de sedimentos que acarretam (FURNAS, 2004).

As ondas que ocorrem nos grandes corpos d'água, incluindo os reservatórios, são geradas pela transferência de energia de outras fontes como o vento, para a superfície líquida que as transporta e as transfere para alguma estrutura ou linha de margem, que, em geral, dissipa uma parcela da energia e reflete o restante (SOUZA, 2004).

A erosão por ação da água resulta do desgaste abrasivo ou desagregação por embate da água sobre um substrato mineral. Para a TVA - Tennessee Valley Authority (2011), as margens de cursos d'água e encostas estão sempre condicionadas à variação do processo natural de erosão, onde o solo erodido transportado é depositado em outro local e que, em certas condições, a velocidade da erosão pode aumentar, destacando-se como causas a remoção da cobertura vegetal, aumento de vazão dos rios; ação das ondas provenientes dos ventos e do movimento de embarcações.

O efeito físico dos ventos que formam as ondas é um fenômeno que ocorre devido à ação contínua e direcionada do vento sobre a superfície das águas, ou seja, a formação de ondas é o resultado da atuação de forças tangenciais entre o vento e a água, em atuação combinada com diferenças de pressão atmosférica sobre as superfícies dos reservatórios (FENDRICH, 1979, apud MULLER, 1995).

A força de embate das ondas provoca uma desagregação do solo, combinando: o meio mecânico, que influi no peso da massa líquida contra o obstáculo; a erosão superficial, que é o retorno da água que se constitui no acréscimo da onda, que com seu embate acaba sendo lançada sobre o solo; a solifluxão ou deslizamento de encosta, originada pelo encharcamento e saturação dos solos umedecidos pela ondas que excedem os taludes e, solapamento, gerado pelas correntes de retorno interno da massa de água ou corpos flutuantes (troncos, etc.), impulsionados pelas ondas, que aplicam golpes de impacto, como aríetes, contra a base do talude (MULLER, 1995).

A Figura 2.1 ilustra uma parte da margem do reservatório da UHE Porto Colômbia, sem a preservação da vegetação ciliar, exposta aos efeitos das ondas.



Figura 2.1 – Ação das ondas em margem do reservatório.

2.2 Metodologia para Estimativa da Altura de Onda

Na engenharia tradicional, a preocupação em definir a altura de onda em reservatórios residia na necessidade de cálculo da borda livre das barragens e suas estruturas adjacentes. Com essa finalidade, evitando o risco de galgamento e colapso da barragem, são simuladas as condições mais desfavoráveis para a região, identificando a máxima altura de onda possível. Entretanto,

nesse estudo, a máxima altura de onda possível será associada aos esforços atuantes na orla do reservatório e seus efeitos erosivos.

Os esforços produzidos pelas ondas dependem de sua altura, que por sua vez está relacionada com a área do reservatório adjacente à margem, orientada na direção do vento. Para as previsões de ondas críticas, algumas fórmulas, considerando a maior velocidade do vento na região, estabelecem uma simples relação entre a altura das ondas e o maior comprimento de uma reta que liga o local da barragem com a margem oposta mais distante do reservatório (SCHREIBER, 1977).

Já o tradicional método de Saville é mais abrangente, pois considera a influência da irregularidade das margens e, assim, utiliza a construção de linhas radiais a partir do ponto de incidência da onda em intervalos iguais, de tal modo que as radiais extremas formem com a direção do vento um ângulo de 45°. Cada uma destas radiais deve se estender até a margem, conforme ilustrado pela Figura 2.2 (SAVILLE et al., 1962 apud SCHREIBER, 1977).

Para o cálculo do comprimento da pista efetiva, esta passa a ser a projeção dos segmentos no eixo principal sendo que a amplitude máxima do segmento mais distante do eixo principal é de 45°.

Neste método desprezam-se os fenômenos de refração e reflexão, ou seja, supõe-se que as ondas serão completamente absorvidas pelas margens. Considera-se que a direção do vento é uniforme e que mantém a mesma direção dentro da área de geração. Despreza-se ainda, a influência da topografia marginal, considerando o relevo a uma mesma cota da lâmina de água.

Esse método é referência para cálculo de borda livre, conforme publicação “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas” (ELETROBRAS, 2003) e também será adotado para a elaboração do modelo teórico para o reservatório da UHE Porto Colômbia.

Schreiber (1977) indica as etapas para determinação dos comprimentos efetivos, sendo a seguir descrito sumariamente:

a) O primeiro passo do cálculo consiste na fixação da influência da forma do reservatório sobre a altura das ondas, apresentada pelo comprimento efetivo, L , da reta traçada, na direção do vento, entre a margem avaliada e a oposta do lago, que não coincide em geral com o comprimento verdadeiro.

b) De cada lado da linha diretriz que passa em direção do vento pelo ponto a ser estudado, traçam-se raios equidistantes até 45° ; mede-se a projeção sobre a diretriz do comprimento do raio, entre o centro e a margem oposta, multiplicando-se esse comprimento pelo co-seno do ângulo correspondente. Do total desses produtos, dividido pelo total dos co-senos, resulta o comprimento efetivo para o cálculo da altura de onda, conforme Figura 2.2.

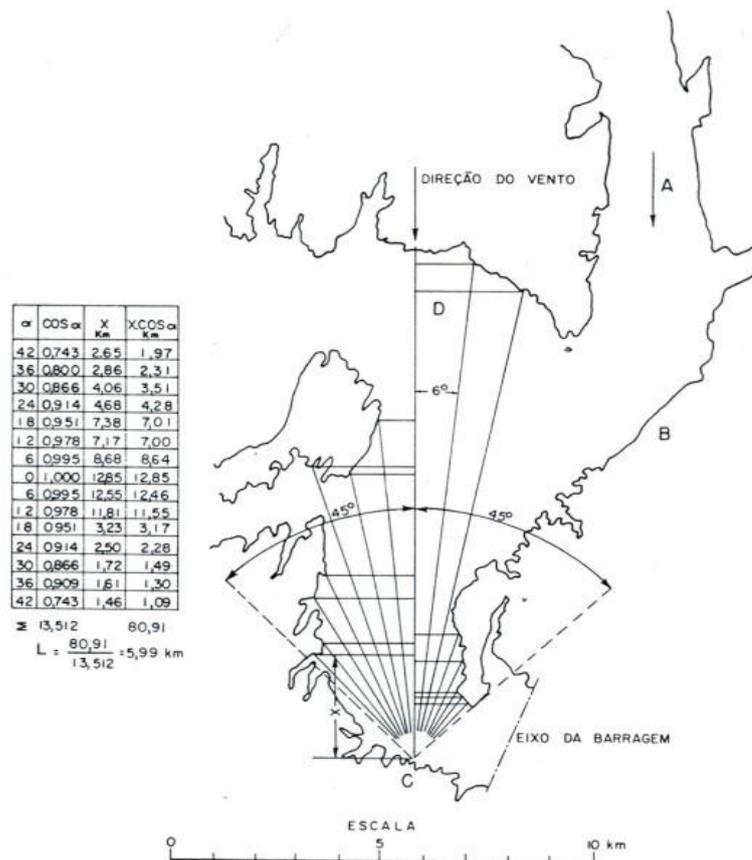


Figura 2.2 – Método para o cálculo do comprimento efetivo. Fonte: SCHREIBER, 1977.

c) O próximo passo é definir a velocidade do vento a ser considerada para os cálculos. As estações meteorológicas registram a velocidade do vento que passa sobre terreno natural, porém, de acordo com SCHREIBER, 1977, a velocidade do vento passando sobre a extensa área de água do reservatório é maior. A relação entre vento sobre terra e vento sobre água está indicada na Figura 2.3, para vários valores de comprimento efetivo.

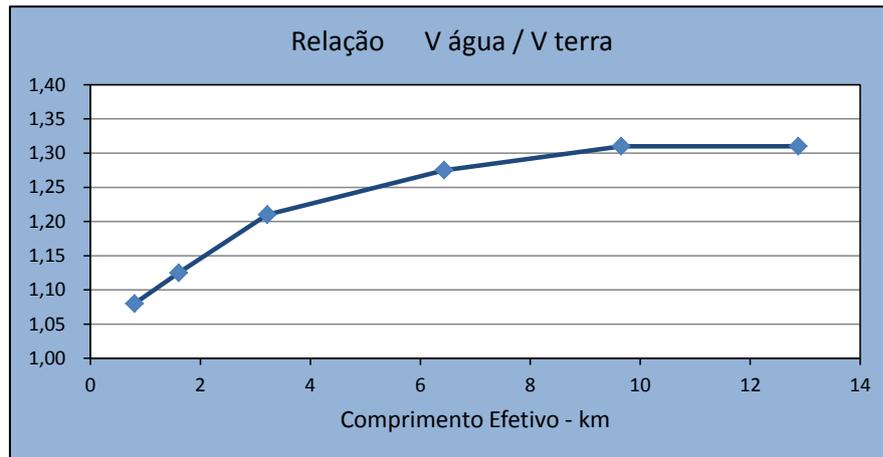


Figura 2.3 – Relação da velocidade de vento sobre a terra e água (SCHREIBER, 1977).

Calculados os valores para o comprimento efetivo na área de influência e para a velocidade do vento sobre o reservatório, pode-se verificar a altura significativa das ondas. Para tanto, existem equações propostas por diversos autores.

Segundo MARQUES (2005), A *American Society of Civil Engineers* (1948), apresenta três formulações empíricas para a estimativa das ondas máximas geradas pela ação de ventos, a saber:

- A mais tradicional delas é a fórmula denominada SGM:

$$H_{max} = 0,4724 (U F)^{0,5} - 3,6942 F^{0,25} + 8,2$$

- A segunda formulação, de acordo com Wolf:

$$H_{max} = (0,0623 U - 1,1653) F^{0,5}$$

- E a terceira formulação, de acordo com Creager:

$$H_{max} = 2,6581 F^{0,37} U^{0,48} / 3,41$$

Nestas equações, H : altura da onda (m), U : velocidade do vento (m/s), F : pista efetiva (km). São consideradas velocidades dos ventos medidas a uma elevação padrão de 10 m de altura.

Vale citar que a equipe da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS/UNESP, desenvolveu um software para determinação de pistas de vento e estimativas de ondas em lagos de barragens, batizado de OndisaCAD, que trabalha em ambientes CADs (MACIEL, 2006). Esse software substitui os trabalhosos cálculos anteriormente descritos e possibilita a geração de resultados gráficos, sendo uma ferramenta valiosa para estudos mais completos e abrangentes sobre reservatórios.

Para o presente trabalho foi empregado o método de Saville com a equação de Creager, que apresentou valores médios para as condições locais, conforme mostrado no item 4, ainda sem a necessidade de programas como o OndisaCAD, considerando que o estudo apenas tratará da proporcionalidade das alturas de ondas para pontos específicos do reservatório. Esses aspectos serão esclarecidos no item que trata da metodologia.

2.3 Importância da Vegetação Ciliar

As matas ciliares são aquelas que ocorrem ao longo dos cursos d'água, incluindo tanto a ribanceira de um rio ou córrego, de um lago ou represa, banhados ou veredas, como também as superfícies de inundação e que sofrem influência do lençol freático.

Para reservatórios artificiais, é comum que as novas margens sejam projetadas sobre áreas já alteradas por atividades agropecuárias, restando fragmentos florestais para compor a vegetação ciliar do novo lago.

Os reservatórios de hidrelétricas, além da produção de energia elétrica, devem proporcionar um desenvolvimento sustentável e uma melhoria na qualidade de vida na região, conseguida através de ações planejadas, segundo critérios econômicos e socioambientais. Faz-se, então, necessário compatibilizar a sua operação com a conservação do meio ambiente e com as aspirações da sociedade local (MÜLLER, 1995). Segundo o autor, o melhor caminho para conservar o meio ambiente e sua biodiversidade seria manter os seus habitats ou, pelo menos, amostras significativas dos que estarão desaparecendo pela transformação de terras secas em um reservatório. Os habitats primitivos, fora da área inundada, em locais razoavelmente próximos aos afetados, tornam-se preciosos porque são raros e precisam receber todos os cuidados para sua proteção. Dentre essas áreas destacam-se as matas ciliares, previstas na legislação para ocuparem as margens dos cursos d'água tais como rios e riachos, e ainda, ao redor de lagoas, lagos e reservatórios d'água naturais e artificiais.

Entretanto, a simples manutenção de fragmentos florestais remanescentes por si só não garante a conservação do ecossistema original, pois a distribuição fragmentária dessas formações costuma alterar seu microclima, a dinâmica de nutrientes, a estrutura florestal e a composição de espécies (BROWN & BROWN, 1992 apud FURNAS, 2004). Nestes casos, é

o histórico particular das perturbações, antrópicas e naturais, que estabelece características próprias a cada um destes remanescentes de floresta.

O processo de eliminação e fragmentação florestal, que é mais intenso nas regiões economicamente mais desenvolvidas, resultou num conjunto de problemas ambientais como a extinção de várias espécies da fauna e da flora, as mudanças climáticas locais, a erosão dos solos e o assoreamento dos cursos d'água. As matas ciliares, mesmo protegidas por lei, não escaparam da degradação, pelo contrário, elas foram alvo de todo tipo de agressão, resultando em vários problemas ambientais que exigem ações corretivas de caráter multidisciplinar (BARBOSA, 2006).

Ainda, segundo BARBOSA (2006), apesar da reconhecida importância ecológica, por funcionarem: a) como filtros, retendo defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos que seriam transportados indiscriminadamente para os cursos d'água, afetando diretamente a quantidade e a qualidade desse recurso e, conseqüentemente, a fauna aquática e a população humana; b) como corredores ecológicos, ligando fragmentos florestais e, portanto, facilitando o deslocamento da fauna e o fluxo gênico entre as populações de espécies animais e vegetais; e c) como protetoras do solo contra os processos erosivos em regiões com topografia acidentada, as florestas ciliares continuam sendo eliminadas, cedendo lugar para a especulação imobiliária, para a agricultura e a pecuária e, na maioria dos casos, sendo transformadas apenas em áreas degradadas, sem qualquer tipo de produção que tenha o compromisso com a sustentabilidade.

Do ponto de vista biológico, perturbações ambientais podem resultar em uma série de alterações preocupantes para as comunidades animais e vegetais. O potencial que tais modificações têm em alterar as interações bióticas relaciona-se principalmente a padrões de herbivoria, polinização, dispersão e predação de sementes, podendo resultar no colapso de populações animais e vegetais (HOWE 1984, CHAPMAN & CHAPMAN 1995 apud FURNAS 2004).

Para tanto, devem-se estabelecer corredores naturais que exerçam esse papel como é o caso das matas ciliares. Estas precisam ser não apenas mantidas e protegidas, mas essencialmente recompostas nas faixas marginais de rios, reservatórios, e corpos d'água em geral.

Também é sabido que ocorre maior estabilidade das áreas marginais pela contenção de escorregamento e de assoreamento, uma vez que a condutividade hidráulica de um solo coberto com floresta é maior que um solo desprovido de vegetação ou mesmo com gramíneas, apresentando assim menor escoamento superficial (REICHARDT, 1989) e, conseqüentemente, menor arraste de partículas e menor poder erosivo.

Segundo MÜLLER (1995), a nova linha de costa que surge com a formação de um reservatório é estabelecida em uma superfície geologicamente e biologicamente não preparada para essa situação. A estrutura do solo, a vegetação que o cobre e a fauna que vive naquele lugar não estão absolutamente ajustadas às áreas ribeirinhas e zonas inundáveis temporariamente. Por serem ambientes instáveis, sofrem processos de erosão e assoreamento, de lixiviação e de compactação, além dos relacionados com a reversão do fluxo das águas das camadas freáticas. A intensidade desses fenômenos varia com o tipo de solo, entre outras coisas, e a evolução natural se processará até atingir um ponto em que a velocidade do desgaste se reduz, sendo uma das razões a própria resistência que o assoreamento dos solos, junto às margens, produz ao ímpeto das ondas. A partir desse estágio, a revegetação passa a ser eficiente nas margens e até na região inundada mais rasa.

Na mesma linha, o Diagnóstico Ambiental da UHE Porto Colômbia (FURNAS, 2004), também verifica que, no caso de reservatórios hidrelétricos, a vegetação ciliar formada junto aos barrancos marginais ribeirinhos constitui-se como sólida estrutura de contenção de sedimentos carreados pela chuva e pela flutuação dos níveis d'água, evitando que os mesmos se acumulem e diminuam a profundidade do reservatório ao longo do tempo.

Logo, conclui o Diagnóstico Ambiental, a gestão de todo e qualquer reservatório deve procurar manter e recompor sua floresta ciliar, a fim de evitar perdas no seu volume de água e conseqüentemente estender ao máximo a vida útil da usina hidrelétrica, dado que os custos econômicos e ambientais da sua criação são elevados o suficiente para que desperdícios não sejam mais toleráveis na atualidade.

Entre tantas vantagens apresentadas, a manutenção ou recomposição da vegetação ciliar, preferencialmente desde o enchimento do reservatório, é importante fator de preservação das margens para o caso específico das erosões provocadas pelas ondas, sendo essa a hipótese e motivação principal do presente estudo.

O conhecimento técnico e científico hoje acumulado, traduzido em leis e políticas coerentes não pode mais ser ignorado, não apenas para a melhoria da produção energética e do serviço prestado à população, mas também pelas inúmeras razões que fazem do revestimento florestal ciliar um componente-chave para a saudável manutenção de todo o ecossistema terrestre e aquático que envolve um reservatório, bem como de sua relação com a qualidade do solo e da água para os mais diversos fins (FURNAS, 2004).

Nesse sentido, este fator constitui-se no maior interesse do estudo, justificando, no levantamento de campo, a avaliação da existência da vegetação de proteção ciliar e suas características nos pontos pesquisados.

2.4 Aspectos Regulamentares Relativos à Vegetação Ciliar

A obrigatoriedade de preservação de matas ciliares em nascentes, margens de rios e outras formas de corpos hídricos, foi prevista no Código Florestal, instituído pela Lei nº 4771/65.

Entretanto, a efetividade da lei, a evolução e o detalhamento do tema não acompanharam o pico de desenvolvimento e a consequente expansão do setor elétrico, em destaque para as décadas de 1960 e 1970, época do “Milagre econômico brasileiro”. Naquela época, para a implantação das usinas, normalmente a desapropriação da área do reservatório limitava-se a pouco mais que sua projeção.

O melhor detalhamento para os projetos hidrelétricos observando-se a lei nº 4771/65 sobre a faixa de preservação permanente apenas teve início na década de 80, principalmente após a instituição da Política Nacional do Meio Ambiente pela Lei 6.938/81, que criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) atribuindo aos estados responsabilidade maior nas normas protetoras do meio ambiente.

O órgão superior do SISNAMA é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que têm o poder de editar normas com efeito de lei, e que iniciou a obrigatoriedade de licenciamento dos empreendimentos através da resolução CONAMA 001/86, sujeitando-os a prévio estudo de impactos ambientais, os EIA/RIMA. Aliado a isso, o artigo 225 da Constituição Federal de 1988, impôs ao poder público e à coletividade o dever de proteger o meio ambiente.

A Lei nº 7803, de julho de 1989, que alterou a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revogou as Leis n.º 6.535, de 15 de junho de 1978, e n.º 7.511, de 7 de julho de 1986, prevê como de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural, conforme sua situação, buscando uma melhor definição da extensão dessas áreas, conforme segue:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja de:
- 30 m para os cursos d'água de menos de 10 m de largura;
 - 50 m para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 m de largura;
 - 100 m para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 m de largura;
 - 200 m para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 m;
 - 500 m para os cursos d'água que tenham acima de 600 m;
- b) ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d'água”, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m de largura;
- d) no topo de morros, montes e serras;
- e) nas encostas ou parte destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 m em projeções horizontais;
- h) em altitude superior a 1800 m, qualquer que seja a vegetação.

Verifica-se, na alínea b, que não é definido a largura da faixa de preservação para reservatórios. Porém, de acordo com a Resolução CONAMA nº 04/85 - Reservas Ecológicas, combinado ao art. 2º do Código Florestal e ao art. 18 da Lei nº 6.938/81, no entorno dos reservatórios das hidrelétricas deve ser definida faixa de Preservação Permanente de 100 m.

Em 2002, o CONAMA estabeleceu novas regras para a APP no entorno dos reservatórios artificiais (Resolução nº 302). Nesses casos, a APP passou a medir, como regra geral, 30 metros em área urbana consolidada (ou seja, praticamente a mesma regra da Resolução CONAMA nº 4/1985) e 100 metros em área rural (podendo, no entanto, ser reduzida até 30 metros, dependendo das condições ambientais locais). No caso de reservatórios com até 10 ha destinados à geração de energia elétrica, a APP foi reduzida para 15 metros. No caso de

reservatórios com até 20 ha, localizados na zona rural, não destinados nem ao abastecimento público nem à produção de energia elétrica, a APP também foi reduzida para 15 metros.

Complementando as definições necessárias, conforme o § 6º, do art. 4º da Medida Provisória nº 2.080-63/2001, estas áreas devem ser obrigatoriamente desapropriadas ou adquiridas pelo empreendedor, sendo os parâmetros e regime de uso definidos por resolução pertinente.

Com o Novo Código Florestal (Lei 12.727, 17/10/12) foi dada melhor definição de APP para os reservatórios de usinas hidrelétricas antigas (anteriores à MP 2.166-67, 24/08/2001) fixando a faixa entre o nível máximo normal e o maximorum, sendo mantidas para os demais casos a faixas de 15 a 30 m em área urbana e de 30 a 100 m em área rural.

Conforme histórico, verifica-se que as indefinições legais sobre a responsabilidade pela manutenção e a extensão da faixa de preservação permanente propiciaram a ocupação das margens de reservatórios artificiais, criados pelas usinas hidrelétricas, e a quase extinção das matas ciliares.

3. ÁREA DE ESTUDO

A Usina Hidrelétrica de Porto Colômbia está localizada no rio Grande, entre os municípios de Planura (MG) e Guaíra (SP). A Figura 3.1 mostra uma vista aérea por montante, onde também pode ser observada região do reservatório.



Figura 3.1 - Fotografia aérea da UHE Porto Colômbia - Fonte: FURNAS, 2011.

A usina foi construída para aproveitar o alto grau de regularização de descargas, promovido pelo reservatório da Usina de Furnas. A operação comercial da Usina foi iniciada em junho de 1973 e, em janeiro de 1974, ela já atingia sua capacidade total instalada de 320 MW, com quatro unidades geradoras de 80 MW (FURNAS, 2011).

Os dados técnicos da UHE Porto Colômbia são apresentados na Tabela 3.1, a seguir.

Tabela 3.1 – Dados Técnicos da UHE Porto Colômbia - Fonte: FURNAS, 2011.

BARRAGEM:	CASA DE FORÇA:
Tipo: argila; seção homogênea	Tipo: coberta 170 m x 17 m
Altura máxima: 40 m	4 Unidades com potência nominal: 80 MW
Desenvolvimento: 1652 m	Turbinas tipo Kaplan - Rotação: 85,7 rpm
Largura no coroamento: 10 m	Fabricantes - Nohab/Suécia e Bardella/Brasil
Elevação no coroamento: 469,7 m	Geradores: 60 Hz, Tensão 13,8 kV
Volume total: 2.736.497 m ³	Fabricante - Asea/Suécia
	Transformadores Trifásicos: 5 (um reserva)
RESERVATÓRIO:	Capacidade 336 MVA, Relação 13,8/138 kV
Nível máximo normal: 467,2 m	Fabricante: ABB
Nível de máxima cheia: 467,2 m	
Nível mínimo de operação: 465,5 m	VERTEDOIRO:
Área inundada: 143 km ²	Descarga Máxima: 16.000 m ³ /s
Volume útil: 0,233 bilhão m ³	Comportas: 9 unid tipo Segmento
Volume total: 2,335 bilhões m ³	Largura 15 m, Altura 15,4 m e Raio 15 m
Perímetro: 300 km	Fabricante: ATB (Itália e Brasil)

A partir dos fundamentos teóricos, o reservatório da UHE Porto Colômbia foi avaliado, com foco nas características que influenciam a formação de ondas e a evolução de processos erosivos, a seguir relacionadas:

- Forma do reservatório
- Relevo das margens
- Geologia das margens
- Condições operacionais
- Ocupação da orla
- Ventos predominantes

3.1 Forma do Reservatório

A barragem de Porto Colômbia forma um lago com área de 143 km² e perímetro de 300 km, com formato sinuoso, apresentando dois braços principais, formados pelos rios Uberaba (margem direita - MG) e Sapucaí-Mirim (margem esquerda - SP).

Seu canal principal, na calha do rio Grande, com aproximadamente 2 km de largura, alcança 40 km de extensão, em linha reta no sentido leste - oeste, até a UHE Volta Grande, localizada imediatamente a montante. Essa condição propiciou pista de vento máxima de quase 18 km e médias em torno de 1,7 km para os pontos estudados.

3.2 Condições Topográficas e Geológicas das Margens

A subida das ondas no talude das margens depende da inclinação e da permeabilidade da superfície. O talude liso facilita a subida, enquanto que um talude com enrocamento ou vegetação quebra a onda por sua rugosidade e permeabilidade, debilitando seu impacto (SCHREIBER, 1977).

Também as características geológicas são determinantes para a evolução de processos erosivos, bem como as características do solo existente nas margens dos reservatórios ditam sua maior ou menor resistência ao desgaste. Solos arenosos de baixa coerência desagregam-se com facilidade, enquanto solos residuais jovens com boa coerência são resistentes à erosão (CARVALHO, 2006).

SALOMÃO (1999) propôs uma metodologia de confecção e cruzamento de cartas de solo e declividade, estabelecendo índices de erodibilidade para chegar a uma carta de susceptibilidade à erosão laminar. O autor atribuiu índices e classes de acordo com unidades pedológicas, e classifica como “pouco susceptíveis” as unidades pedológicas compreendendo: Latossolo de textura média, latossolo de textura argilosa e terra roxa estruturada.

Os dados para a avaliação das características topográficas e geológicas foram obtidos do Relatório de Diagnóstico Ambiental UHE Porto Colômbia (FURNAS, 2004), do arquivo técnico e complementado com as inspeções de campo.

Sobre o aspecto geológico das áreas marginais do reservatório da UHE Porto Colômbia, o Diagnóstico Ambiental de FURNAS (2004) mostra a ocorrência predominante da Formação Serra Geral, com basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos e arenitos intertrapianos.

Os resultados das pesquisa já realizadas por FURNAS (2011) mostram que a maior parte da região do reservatório é composta de solos residuais de rocha basáltica, as pequenas variações referem-se à presença de aluviões ao longo das margens do antigo leito do Rio Grande, conforme apresentado na Figura 3.2.

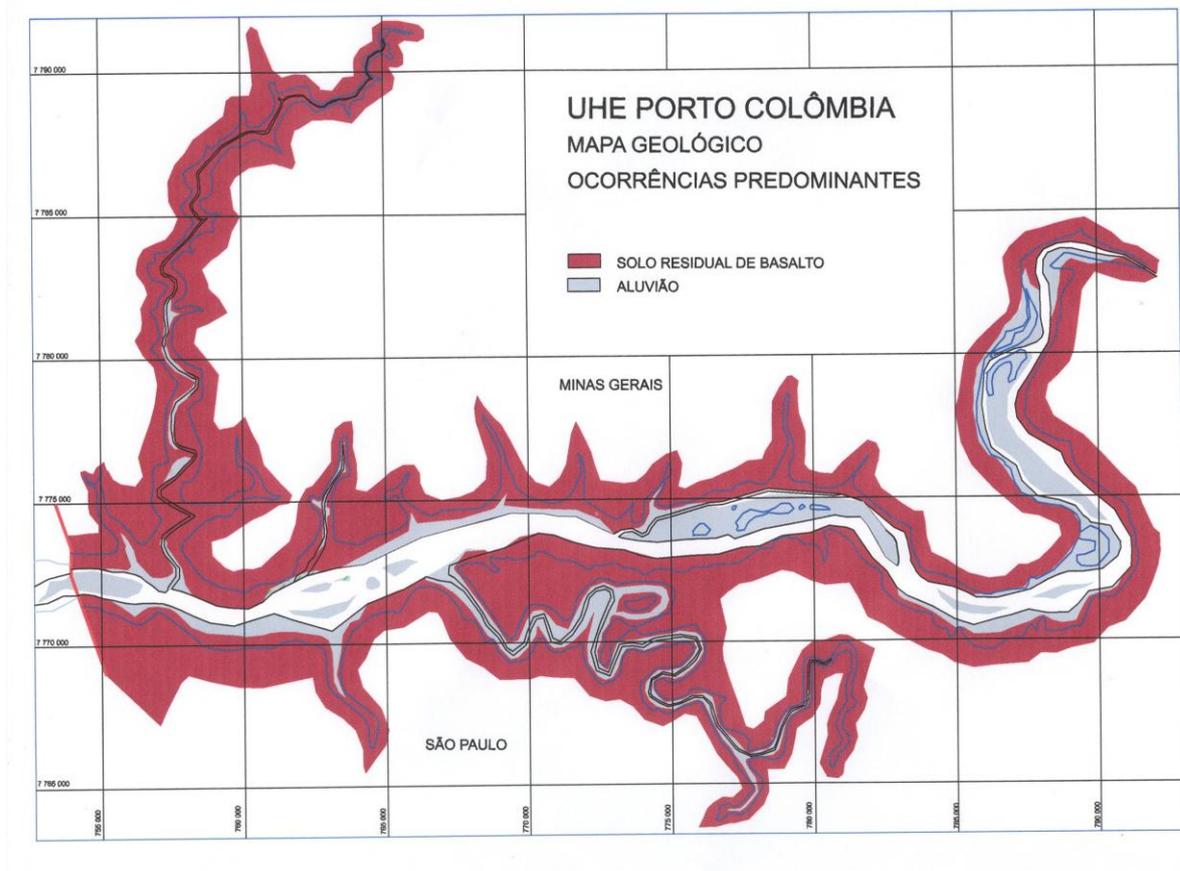


Figura 3.2 – Mapa geológico simplificado da região - Fonte: FURNAS, 2011

No contexto geomorfológico, conforme Diagnóstico Ambiental (FURNAS, 2004), a área do reservatório da UHE Porto Colômbia está inteiramente inserida nos Planaltos em Patamares Estruturais que caracterizam-se por apresentar um relevo “monótono”, levemente ondulado, de colinas.

A região estudada da orla do reservatório da UHE Porto Colômbia caracteriza-se pela predominância de taludes com pequena inclinação, variando na faixa de depleção, de 3,33% a 8,33%, conforme Tabela 3.2, que mostra as inclinações transversais verificadas em amostra característica de 19 pontos iniciais do estudo, mostrados na Figura 4.1.

Tabela 3.2 – Inclinações transversais da região - Fonte: FURNAS, 2011.

Local	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Inclinação (%)	3,57	4,55	6,25	4,17	5,00	8,33	4,55	5,00	5,56	3,85	7,14	5,10	4,17	3,33	5,56	5,46	5,80	4,85	4,60

As condições topográficas e geológicas são variáveis complexas e influentes na evolução de processos erosivos em margens de reservatórios. Contudo, de acordo com as visitas de campo e informações levantadas, estas características são bastante homogêneas, ao longo da orla do reservatório da UHE Porto Colômbia, situação que favorece o estudo da influência da variável foco desta pesquisa, a vegetação ciliar, e simplifica a análise do modelo teórico proposto, não configurando novas variáveis ao estudo.

Durante as inspeções de campo, foram reavaliadas as condições topográficas e geológicas dos pontos em estudo, sendo descartadas as áreas com inclinações superiores à 10% e que não se caracterizavam como solos residuais de rocha basáltica. Por essa razão, foi desconsiderada a área mais a montante do reservatório, região leste, por apresentar solos com características distintas e margens com inclinações superiores às do trecho estudado.

Essa condição justificou a escolha do reservatório da UHE Porto Colômbia para o estudo, sendo as características de ondas predominantes (forma e ventos) e as da orla (ocupação e vegetação ciliar) fatores predominantes para a evolução de processos erosivos.

3.3. Condições Operacionais do Reservatório

Durante o ciclo anual de variação do nível da água entre as cotas mínimas e máximas de operação dos reservatórios, surge uma faixa de solo geralmente desnuda, ou com pouquíssima vegetação, denominada faixa de depleção. Essas variações no nível da água dificultam a implantação de uma flora litorânea variada e, por falta desta flora, as margens ficam sujeitas à erosão e à formação de lodo, além de não sustentarem os peixes e as aves aquáticas que encontram dificuldade em nidificar nas redondezas desses lagos (MARTINS, 2005).

Além disso, a ação erosiva da água na área de depleção contribui significativamente para o assoreamento dos reservatórios, tendo como consequências a diminuição da capacidade de acumulação de água e, no caso de usinas hidrelétricas, um aumento no efeito abrasivo nas turbinas de geração, causado pelas partículas sólidas em suspensão (MARTINS, 2005).

As regras que condicionam a operação do reservatório são pré-estabelecidas pelo Operador Nacional do Sistema – ONS, órgão responsável pela operação integrada do Sistema Elétrico Nacional.

A UHE Porto Colômbia tem seu funcionamento, entre outros aspectos, condicionado à operação dos sistemas pertencentes à cascata do Rio Grande, formados por várias e importantes usinas, entre elas, Volta Grande, Jaguará, Estreito e Furnas por montante; Marimbondo e Água Vermelha por jusante e, em seguida, pelo Rio Paraná até a usina de Itaipu (FURNAS, 2011).

Esse comportamento operacional mostra que a afluência da usina está subordinada à função regularizadora dos vários reservatórios que compõem a cascata, compreendendo um compromisso entre usos que agrega ganhos energéticos ao sistema interligado.

Segundo FURNAS (2011), o reservatório da UHE Porto Colômbia, que trabalha a fio d'água, não opera com alocação sazonal de volume, ocorrendo pequena depleção forçada do nível d'água no período que antecede o pico de cheias, normalmente entre novembro a janeiro, e mantém níveis mais estabilizados no período de março a setembro, o qual abrange o período seco. As maiores variações de nível ocorrem, normalmente, em curto intervalo de tempo quando o reservatório é deplecionado e/ou começa a receber a contribuição de cheias, conforme mostra a Figura 3.3.

O reservatório pode apresentar variações de nível anuais, registrando oscilações entre os níveis máximo e mínimo operacional, da elevação 467,20 a 465,50 m, resultando uma faixa máxima de depleção de 1,70 m. Entretanto, os registros dos níveis do reservatório mostram que a efetiva faixa de depleção, em grande parte do ano, situa-se entre 466,00 e 466,80, ou seja, 0,80 m.

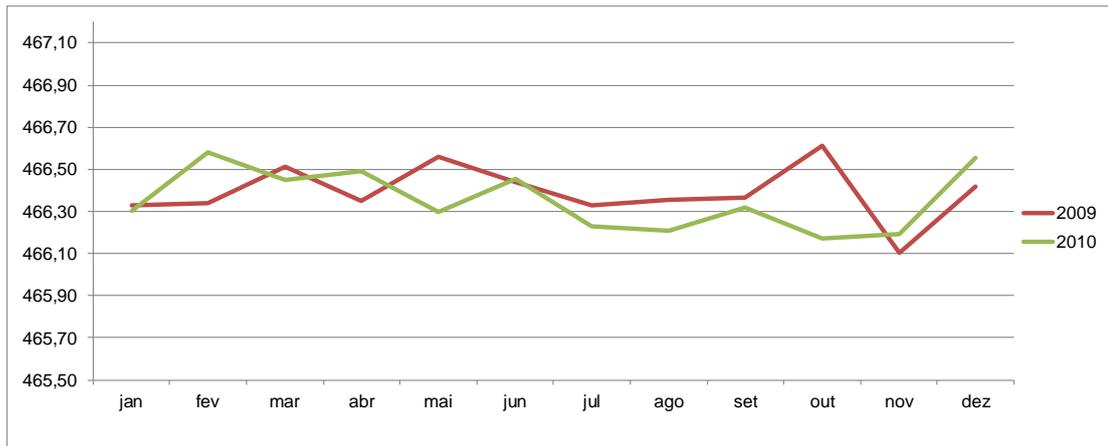


Figura 3.3 – Variações dos níveis médios ao longo do ano - Fonte FURNAS, 2011.

A intensidade dessas variações decorre da pequena capacidade de armazenamento do reservatório, com volume útil de $0,233 \times 10^9 \text{ m}^3$, e também por restrições de descarga pelo vertedouro, em função da existência de uma ponte rodoviária à jusante. As variações do nível do reservatório ao longo do ano estão mostradas no gráfico da Figura 3.4, a seguir.

Nível (m)	465,5	465,6	465,7	465,8	465,9	466,0	466,1	466,2	466,3	466,4	466,5	466,6	466,7	466,8	466,9	467,0	467,1	467,2
Área (km ²)	128,7	129,7	130,6	131,6	132,6	133,5	134,5	135,4	136,4	137,3	138,3	139,2	140,2	141,1	142,1	143,0	144,0	144,9
Permanência (%)	100,0	100,0	99,9	99,2	98,2	94,4	85,6	75,5	63,0	48,9	36,2	26,9	18,5	11,9	7,6	3,7	0,6	0,0

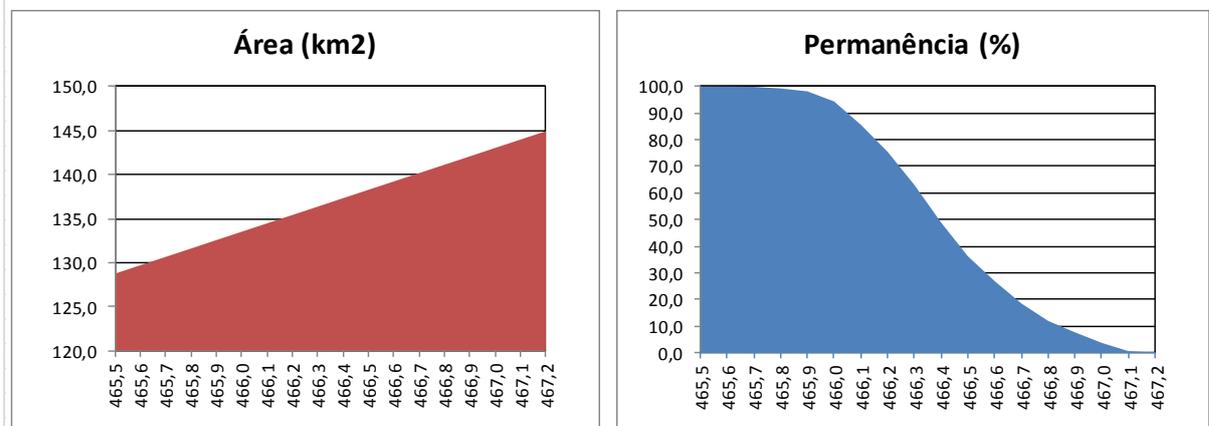


Figura 3.4 – Permanência de Níveis e Relação com Área Alagada - Fonte FURNAS, 2011.

Uma análise dos níveis médios em relação ao gráfico cota x área da Figura 3.4 permite inferir que as variações anuais de nível proporcionam uma exposição máxima de área de margem em torno de 7 km^2 , o que corresponde a uma variação 5 % da área inundada.

Essa característica particular do reservatório da UHE Porto Colômbia, com pequenas variações de níveis, propicia a incidência de ondas em uma faixa de depleção restrita da orla, diferente dos reservatórios de regularização, com grande faixa de depleção, sujeitos também a processos erosivos adicionais pela maior exposição da margem aos efeitos das intempéries,

como comentado anteriormente, assim como torna variável as pistas de vento e a exposição da superfície do lago aos ventos, afetando a altura das ondas.

Essa situação de pouca depleção, aliada à homogeneidade das condições topográficas e geológicas, também favorece a aplicação do modelo teórico em estudo.

3.4. Ocupação da orla

A região do reservatório da UHE Porto Colômbia caracteriza-se pela predominância de terras aptas à moderna agropecuária, devido a sua topografia plana facilmente mecanizável, aliada a técnicas de fertilização, e encontram-se hoje com plena ocupação agropastoril, destacando-se o plantio das culturas da soja e cana de açúcar e a criação de gado para corte. De uma forma geral, o aspecto da ocupação no entorno do reservatório pode ser observada pela imagem de satélite da Figura 3.5.



Figura 3.5 – Imagem do reservatório da UHE Porto Colômbia (Google Earth, 2010).

Segundo o Diagnóstico Ambiental de Furnas (2004), a obra foi responsável pela inundação de cerca de 14.000 hectares de terras, dos quais, mais de 80% já correspondiam a pastagens e áreas cultivadas. Cerca de menos de mil hectares das terras inundadas estavam cobertos por remanescentes descontínuos de vegetação nativa pertencente aos domínios da Floresta Estacional Semidecídua e do Cerrado.

Todavia, já naquela época tais remanescentes vegetais nativos se restringiam basicamente a fragmentos ciliares de vegetação e áreas de várzea do rio Grande, uma vez que o solo fértil da região já havia estimulado a quase total devastação das florestas pluviais que cobriam as cobiçadas “terras roxas”.

Como agravante, ao longo dos anos, desde a formação do lago no início da década de 1970, em grande parte da orla ocorreu ocupação irregular, restando poucos trechos com vegetação de proteção ciliar.

O Diagnóstico Ambiental das áreas de influência do reservatório (FURNAS, 2004) apresentou um mapa de uso e ocupação, elaborado a partir de imagens de satélite ETM Landsat 7, com resolução espectral de 30 metros, georreferenciadas e classificadas utilizando o software ENVI, apresentado na Figura 3.6.

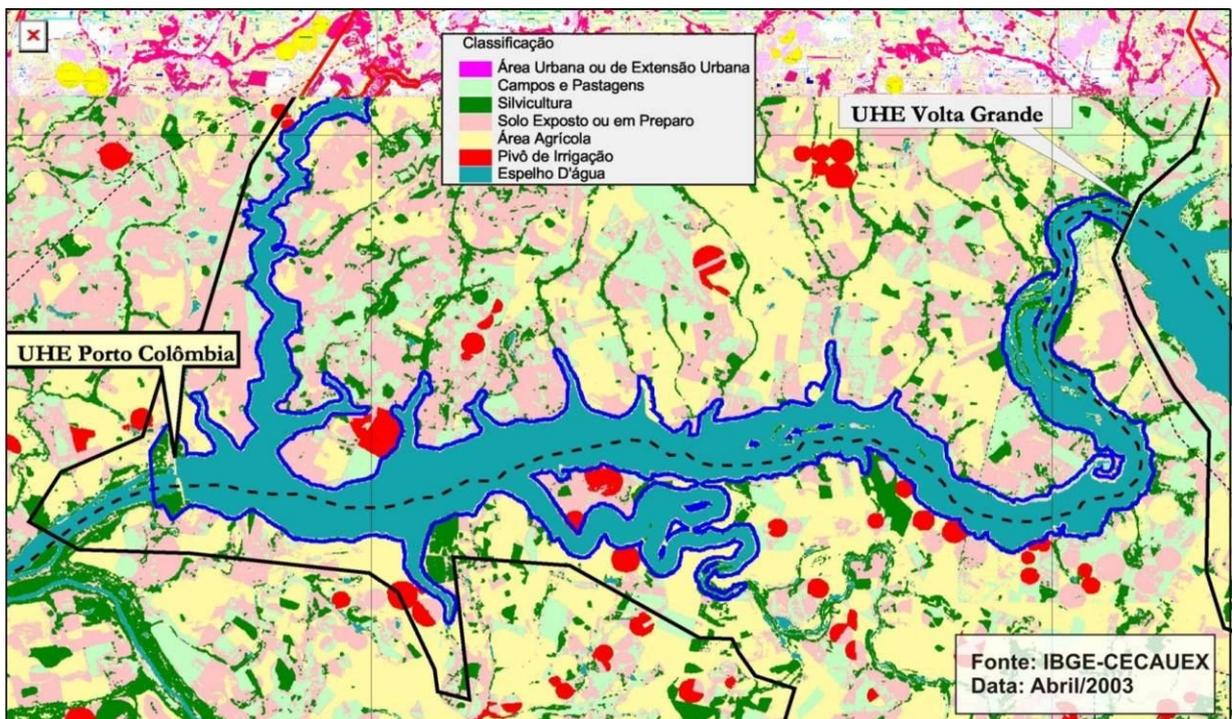


Figura 3.6 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo - Fonte: FURNAS, 2004.

A caracterização revela uma região praticamente ocupada por atividades agropecuárias, bastante comuns na região onde se insere o empreendimento desde antes da sua implantação. A área ocupada com atividades agrícolas e pastagens é de 5.178,60 km², que equivale a 93,81 % do total das áreas influenciadas pelo empreendimento, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Ocupação da Área de Influência (FURNAS, 2004)

Classe de uso	Área ocupada (km ²)	%
Pivô Central	31,70	0,57
Vegetação arbórea e arbustiva	139,10	2,52
Cultivos Agrícolas	1.973,40	35,75
Área Urbana ou de Extensão Urbana	56,50	1,02
Espelho D'água	146,20	2,65
Campos e Pastagens	1.227,60	22,24
Solo Exposto ou em Preparo	1.945,90	35,25
TOTAL	5.520,40	100

Alguns registros com exemplos de ocupações da orla do reservatório sem a preservação de vegetação ciliar, com edificações para lazer, agricultura e pecuária são apresentados, respectivamente, nas figuras 3.7, 3.8 e 3.9, a seguir.

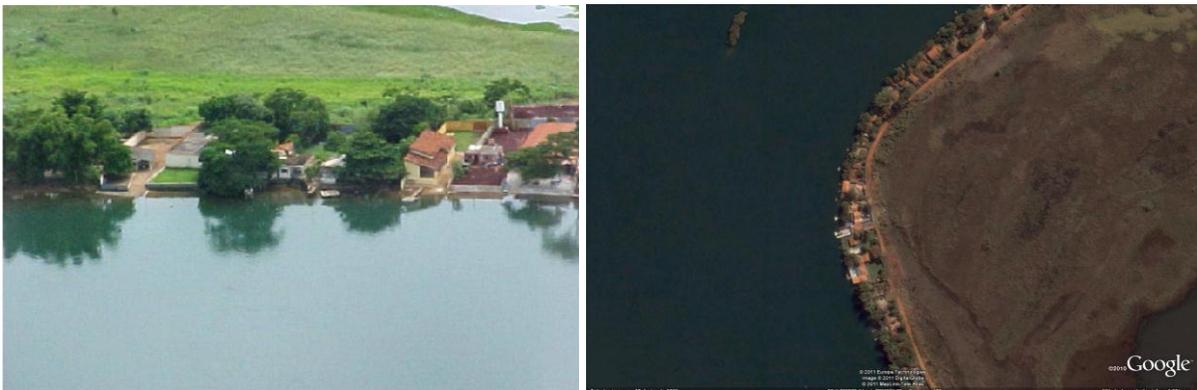


Figura 3.7 – Edificações para lazer (FURNAS, 2004 e GOOGLE, 2010)



Figura 3.8 – Ocupação da margem com agricultura (GOOGLE, 2010)

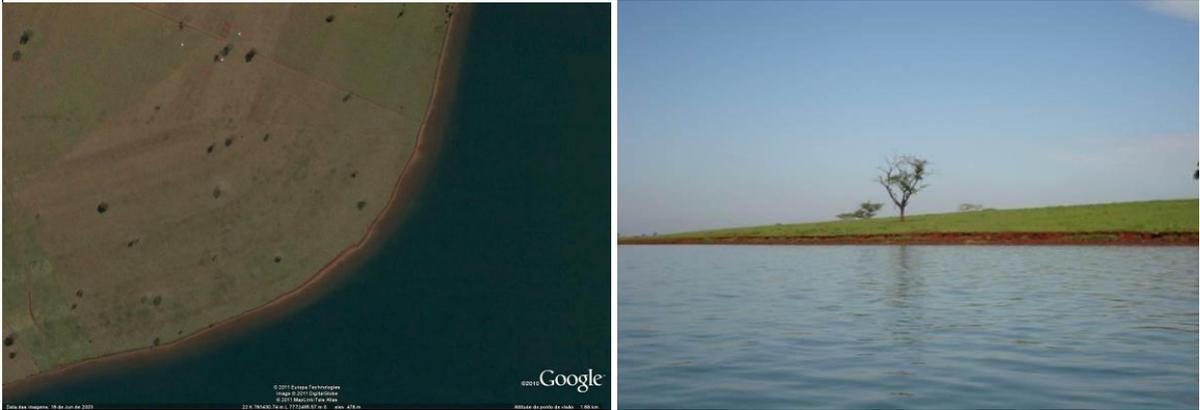


Figura 3.9 – Ocupação da margem com pecuária (GOOGLE, 2010 e FURNAS, 2004).

3.5. Velocidade e Direção Predominante do Vento

Em termos de dados históricos e distribuições estatísticas das velocidades médias e direções do vento, ainda existem poucos estudos no Brasil. Soma-se ainda a dificuldade de acesso às informações disponíveis no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Assim, como subsídio inicial, adotou-se o trabalho desenvolvido por Amarante et al (2001), o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, patrocinado pela Eletrobrás, Ministério de Minas e Energia e outros parceiros, que contém informações sobre direção e velocidade predominantes do vento para todo o território nacional.

O Atlas utiliza um abrangente sistema de software de modelamento numérico dos ventos de superfície, o MesoMap. Esse sistema simula a dinâmica atmosférica dos regimes de vento e variáveis meteorológicas correlatas, a partir de amostragens representativas de um banco de dados validado para o período 1983/1999 (AMARANTE et al, 2001).

O sistema inclui condicionantes geográficas como o relevo, a rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, as interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera, inclusive efeitos do vapor d'água presente. Essas simulações são balizadas por referências existentes, tais como grades de dados meteorológicos resultantes de reanálises, radiossondagens, vento e temperatura medidos sobre o oceano e medições de vento de superfície já realizadas regionalmente no Brasil. Entre estas últimas, foram selecionadas

apenas as medições com qualidade adequada para referenciar o modelo ou referências coerentes representativas de grandes áreas (AMARANTE et al, 2001).

Os resultados dessas simulações são apresentados em mapas temáticos, que representam os valores médios de velocidade e direções predominantes do vento e as frequências médias anuais, conforme Figura 3.10.

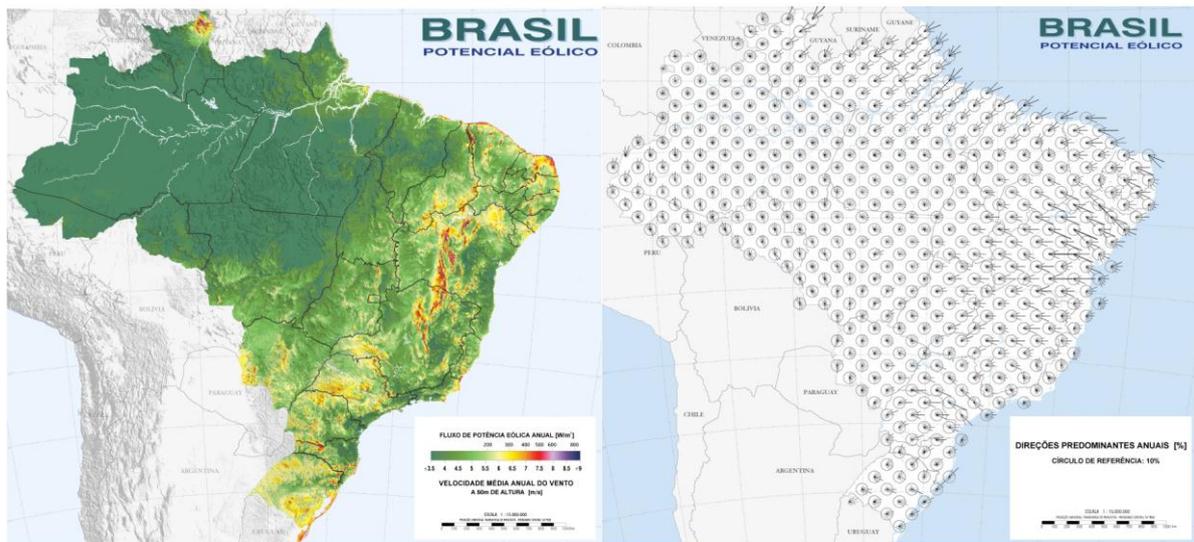


Figura 3.10 – Velocidade e direção do vento, média anual (AMARANTE et al, 2001).

Para refinamento das informações, foram analisados os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET das estações climatológicas mais próximas ao reservatório: Frutal, Araxá e Uberaba, contemplando médias mensais de quatro anos seguidos de 2002 a 2005.

Foi escolhida a Estação Climatológica Principal de Uberaba/MG - Lat: 19°44' S Long: 047°57' W Alt: 732,00 m, por sua coerência com os dados do mapa temático de médias anuais e pela proximidade ao reservatório da UHE Porto Colômbia.

As informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, contemplando médias mensais para a velocidade e direção predominantes na região, para um período de quatro anos seguidos, são apresentados na Tabela 3.4, a seguir.

Tabela 3.4 – Velocidade e Direção Predominante do Vento – Fonte INMET.



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET

ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL DE UBERABA/MG

Lat : 19°44' S Long : 047°57' W Alt : 732,00 m

VELOCIDADE DO VENTO - MÉDIA MENSAL (m/s)

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2,7	1,7	2,1	2,3	2,2	2,1	2,2	3,1	2,6	3,5	2,4	2,2
2,5	2,1	1,8	1,5	1,8	1,5	2,3	2,3	1,6	1,4	1,4	1,4
1,5	1,3	1,4	0,9	0,8	1,3	2,0	1,8	2,2	1,4	1,3	1,1
0,9	1,1	0,9	0,9	0,9	1,2	1,9	1,3	1,4	0,9	1,1	0,9

VENTO DIREÇÃO HORÁRIA - MÉDIA

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ESE	ESE	E	NE	ESE	ENE	ENE	ENE	E	ESE	ESE	ESE
SE	SE	ESE	E	ENE	NE	NE	E	ENE	NE	E	E
E	ENE	NE	ENE	ENE							
ENE	NE	ENE	ENE	ENE	NE						

Com os dados do INMET foram definidas as velocidades médias e as frequências anuais para cada direção do vento, conforme Figura 3.11.

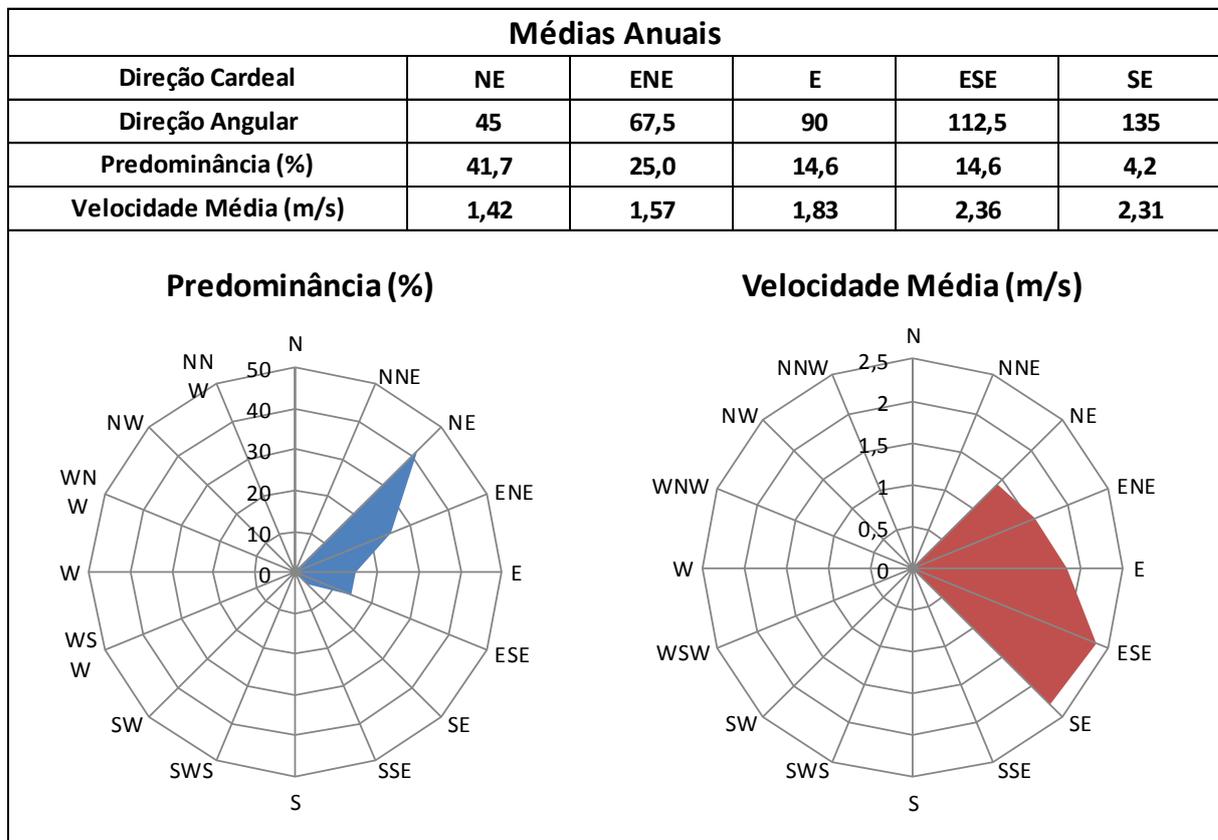


Figura 3.11 – Direção e Velocidade do vento, frequências anuais.

Essas informações foram utilizadas na elaboração no Modelo Teórico para identificação das áreas do reservatório mais susceptíveis aos processos erosivos.

4. METODOLOGIA.

A partir da revisão teórica e da avaliação do reservatório, com os dados sobre forma e ventos predominantes, foram calculados os comprimentos efetivos e a onda máxima para cada direção de vento predominante.

Avaliando os resultados das equações apresentadas no item 2.1, adotando para comparação uma pista efetiva de 2 km, foi verificado que a equação de Wolf não é adequada para velocidades de ventos inferiores a 19 m/s e que a equação de Creager representa valores médios às demais equações, conforme mostra o gráfico da Figura 4.1.

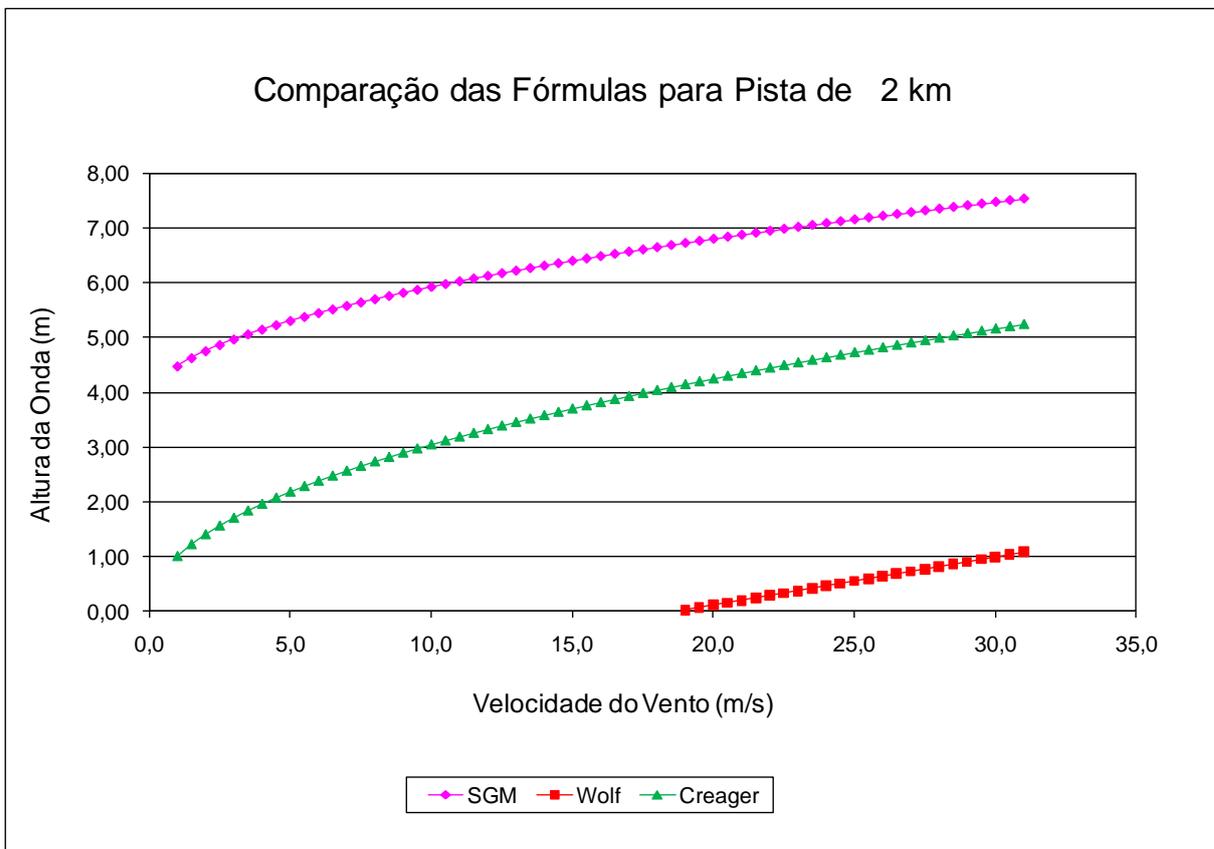


Figura 4.1 – Comparação dos resultados das equações para pista de 2 km

Considerando que o estudo para a UHE Porto Colômbia, limitou-se a pontos específicos para a correlação proporcional entre ondas e efeitos erosivos, por simplificação, foram adotados o método baseado em Saville para determinação da pista efetiva, com intervalos de 11,25 graus, e a equação de Creager para estimar a altura máxima de onda.

Em seguida, em função do percentual de ocorrência de cada direção, foi calculada a onda máxima ponderada, representando uma situação média ao longo do tempo, para cada ponto estudado.

Em paralelo, foi realizado um programa de investigações de campo para avaliação das condições reais nos pontos específicos do reservatório, aferindo a evolução de processos erosivos, as características da vegetação ciliar e as características do solo.

Por fim, foram comparadas as condições do modelo teórico com as condições reais, avaliando a aplicabilidade do modelo para correlação com a evolução dos processos erosivos e a influência da vegetação ciliar.

4.1. Modelo Teórico

4.1.1. Escolha dos Pontos para o Estudo

Baseado na suposição do estudo e explorando as características do reservatório, foram escolhidos inicialmente 19 pontos, em regiões com variações da extensão do lago e com alternância de margens, buscando pontos com diferentes pistas e exposições ao vento.

Para a determinação dos primeiros pontos, ainda sem os dados do INMET, foram utilizadas as direções predominantes do Atlas do Potencial Eólico.

A maior parte dos pontos encontra-se na própria caixa do Rio Grande e outros em áreas de afluentes, entre eles, os pontos 5, 6, 7 e 8 que fazem parte do remanso do Rio Uberaba, conforme mostra a Figura 4.2, a seguir.

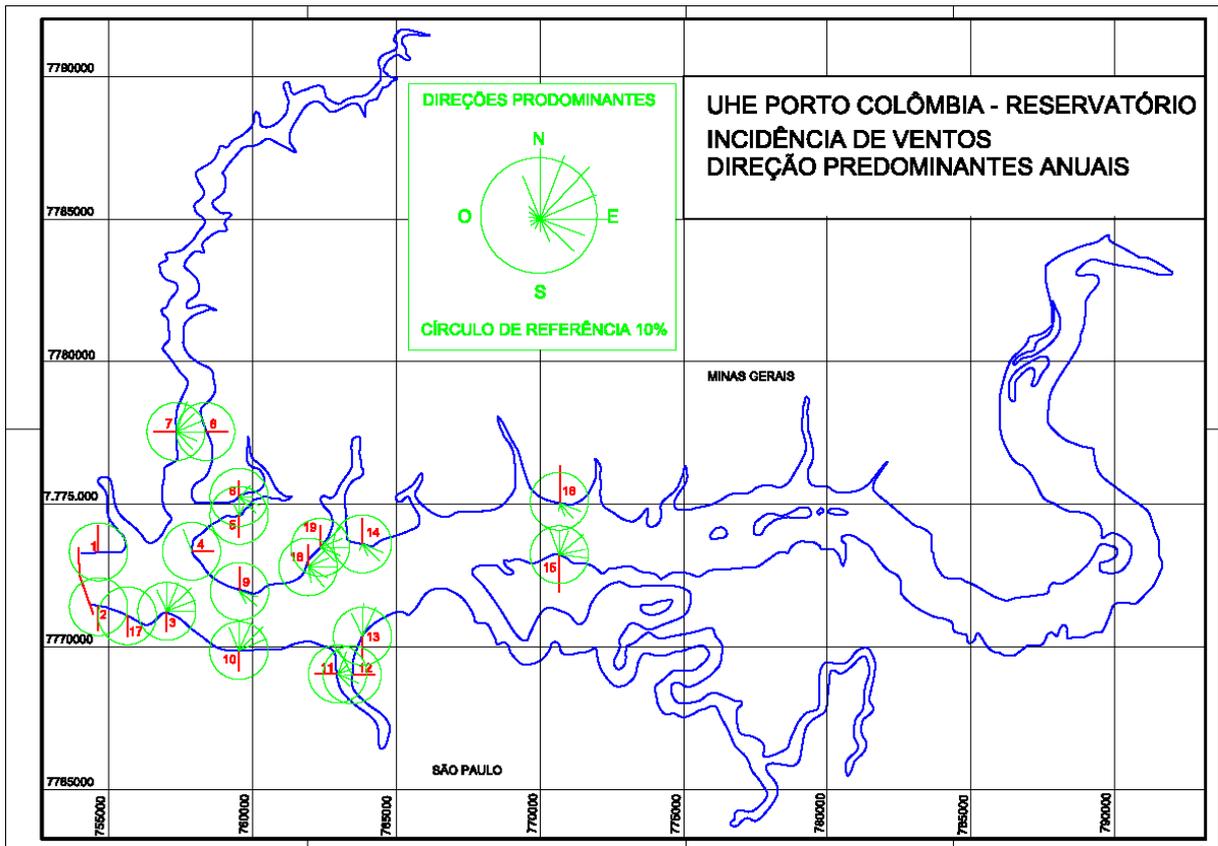


Figura 4.2 – Pontos adotados inicialmente com a incidência média anual.

Posteriormente, com a evolução dos trabalhos de campo, foram adicionados outros pontos buscando caracterizar a vegetação ciliar e a ocupação da orla.

Outra oportunidade interessante foi a avaliação mais detalhada na península formada logo à montante da foz do rio Uberaba, onde inicialmente estavam apenas os pontos 4, 5 e 9. Essa região, por sua forma, possibilitou a análise de pontos com margens voltadas para quase todas as direções, com diferentes pistas de vento e com características geológicas e topográficas bastante similares.

Assim, a amostragem final totalizou 65 pontos para a elaboração do modelo, mostrados sobre imagem de satélite, conforme Figura 4.3.



Figura 4.3 – Pontos Adotados para o Estudo Final (Imagem obtida em GOOGLE, 2010).

4.1.2. Cálculo das Pistas Efetivas e Estimativa para Alturas de Ondas

A modelagem utilizou como base imagens de satélite e aplicativos do Google Earth, para a medição das pistas vento e determinação dos comprimentos, aplicando o método de Saville para determinação da pista efetiva, com intervalos de 11,25 graus. Um exemplo para a medição de pistas pelo aplicativo é mostrado na Figura 4.4, para o ponto 23, com ângulo de 45 graus, no qual se chega a um comprimento de pista de 5.567,20 m.

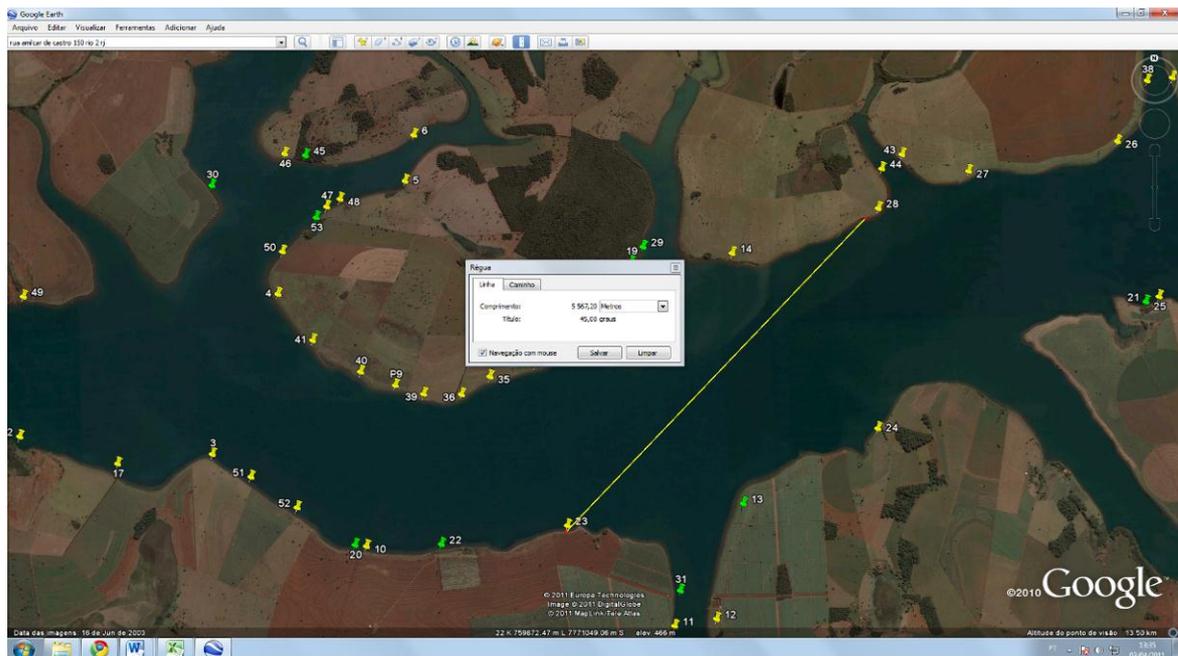


Figura 4.4 – Exemplo Medição de Pista para Ponto 23, a 45 graus (Imagem obtida em GOOGLE, 2010).

O processo foi executado para as cinco direções predominantes (NE, ENE, E, ESE, SE), gerando pistas efetivas para cada situação.

Com os dados de velocidades dos ventos e as respectivas pistas efetivas, utilizando a equação de Creager, foram obtidas as alturas de onda máximas por direção predominante e, a partir daí, considerando a frequência para cada direção, foi calculada a onda máxima média ponderada para cada ponto, como resultado final da modelagem teórica.

4.2. Levantamento de Campo

4.2.1 Programa de Investigação de Campo

O programa de investigações focou a análise de processos erosivos nos pontos das margens do reservatório adotados no modelo teórico, classificando sua evolução em função da altura de desgaste da margem (H).

Também, como fator de grande interesse, foram investigadas a presença e forma da vegetação de proteção ciliar, observando sua extensão e forma, conforme classificação a seguir:

- Herbácea
- Arbustiva
- Arbórea Pequeno Porte
- Arbórea Médio Porte
- Arbórea Grande Porte

Também foram observados se a vegetação é nativa ou reflorestada e, finalmente, classificada se atua, ou não, como proteção ciliar.

Mesmo com as informações topográficas e geológicas, que indicam a homogeneidade para a inclinação das margens e tipo de solo na região do reservatório, com a predominância de solo residual de basalto, foram verificadas em campo possíveis variações desses fatores, com a avaliação do relevo e a classificação tátil e visual do solo, observando também a presença de materiais orgânicos, afloramento de rochas e outras feições de interesse ao estudo.

Assim, foram evitadas regiões com inclinação superior a 10% ou apresentasse solos com características atípicas para a região.

Como aferição das características do solo, foram extraídas amostras para ensaios em laboratório cujos resultados mostraram-se bastante úteis na identificação de alterações pontuais e esclarecimentos para algumas dispersões do estudo, conforme mostrado no item sobre resultados e discussões.

A campanha de investigação de campo incluiu as atividades de avaliação e classificação de processos erosivos, vegetação ciliar e tipo de solo, com anotações e registros fotográficos. Foram avaliados 65 pontos do reservatório contando com os seguintes recursos:

- ✓ Equipe de campo qualificada para a investigação especificada, composta de Engenheiro Agrônomo, Técnico e Barqueiro.

- ✓ Veículo utilitário, barco com motor, equipamento de GPS, máquina fotográfica digital, trena, mapas e planilhas.

4.2.2 Amostragem

Como comentado anteriormente, a amostragem foi inicialmente direcionada aos pontos do modelo teórico, e teve por fim a análise de pontos com condições variadas sobre os fatores de forma do reservatório e posicionamento em relação aos ventos predominantes, conforme anteriormente ilustrado na Figura 4.1.

Ampliando a pesquisa, foram investigados pontos adicionais, escolhidos durante a evolução do estudo, por apresentarem características de interesse, tais como, considerável evolução de processo erosivo, variações para incidência de ventos e, principalmente, características de ocupação e de vegetação de proteção ciliar. Os pontos foram nomeados na sequência cronológica de sua investigação.

Dessa forma, considera-se a amostragem representativa, abrangendo a maioria dos locais de interesse para o estudo proposto para o reservatório da UHE Porto Colômbia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Pistas Efetivas e Altura de Ondas

Conforme metodologia descrita no item 4.1.2 e memórias do Anexo A, foram obtidas as pistas efetivas por ponto e cada direção predominante, conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Pistas efetivas por ponto e direção do vento.

Pistas Efetivas (Km)	Direção	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
	NE	0,33	3,96	4,38	0,00	0,33	0,39	1,22	0,00	0,00	4,93	2,15	0,91	2,43	0,00	4,35	0,13	3,86	3,19	1,99	4,93	2,53	4,79
	ENE	2,34	4,28	5,12	0,00	0,18	0,50	1,37	0,00	0,42	4,64	1,01	0,00	1,54	0,88	4,53	0,93	3,43	4,85	3,40	4,64	1,92	4,48
	E	3,72	3,75	5,13	0,40	0,00	0,55	1,21	0,00	1,18	3,80	0,70	0,00	0,53	1,65	3,97	1,89	2,54	5,72	4,45	3,80	1,22	3,56
	ESE	4,43	2,60	4,39	1,25	0,00	0,49	1,33	0,00	1,83	2,06	0,71	0,11	0,00	2,37	3,04	2,57	1,71	5,88	4,93	2,06	0,36	1,77
	SE	4,49	1,45	2,12	2,05	0,00	0,34	1,47	0,28	2,33	0,07	0,64	0,31	0,00	2,97	1,32	2,96	0,78	4,80	5,14	0,07	0,00	0,09
Pistas Efetivas (Km)	Direção	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44
	NE	5,04	2,23	2,53	0,79	1,37	1,80	2,24	2,07	2,06	2,49	2,57	1,82	1,97	0,65	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	1,95	0,00	0,35
	ENE	4,49	1,41	1,92	2,46	3,33	3,23	3,64	1,62	0,99	3,68	3,66	2,99	3,24	1,63	0,00	0,37	0,88	0,00	0,00	3,39	0,00	0,77
	E	3,31	0,52	1,22	3,47	4,36	4,08	4,46	1,36	0,50	4,25	4,19	3,83	4,09	2,50	0,00	0,74	1,67	0,28	0,31	4,39	0,00	1,44
	ESE	1,56	0,00	0,36	3,86	4,81	4,45	4,97	1,32	0,60	4,43	4,32	4,20	4,39	3,00	0,00	1,40	2,27	0,87	0,97	4,86	0,80	2,40
	SE	0,19	0,00	0,00	3,84	4,85	4,07	5,18	1,01	0,70	3,53	3,35	3,21	3,27	3,08	0,55	2,05	2,64	1,48	1,61	4,87	1,59	3,06
Pistas Efetivas (Km)	Direção	P45	P46	P47	P48	P49	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63	P64	P65	P66
	NE	0,00	0,00	0,36	0,47	0,39	0,59	4,37	4,36	0,36	1,51	4,20	4,58	5,19	4,32	2,19	2,51	2,31	0,44	4,74	4,57	3,46	0,00
	ENE	0,24	0,28	0,17	0,30	1,62	0,27	4,69	4,60	0,17	0,79	4,59	4,72	4,53	3,49	1,40	1,73	2,04	2,00	4,74	4,01	3,33	0,00
	E	0,45	0,53	0,00	0,11	2,89	0,00	4,57	4,21	0,00	0,21	4,30	4,18	3,32	2,27	0,49	0,76	1,38	2,87	4,12	2,80	2,78	0,00
	ESE	0,63	0,75	0,00	0,00	3,66	0,00	3,77	3,22	0,00	0,00	3,52	3,05	1,42	0,45	0,00	0,13	0,85	3,38	2,72	1,11	1,95	0,00
	SE	0,79	0,97	0,00	0,00	3,93	0,00	1,52	0,97	0,00	0,00	1,33	0,75	0,15	0,18	0,00	0,00	0,55	3,51	0,62	0,00	0,69	0,00

Com pistas efetivas e os dados de velocidades dos ventos, utilizando a equação de Creager, foram obtidas as alturas de onda máximas por direção e a média ponderada pela predominância (%) de cada direção, conforme Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Onda Máxima e Média Ponderada.

Ondas Máximas (m)	Direção	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22
	NE	0,61	1,53	1,59	0,00	0,61	0,65	0,99	0,00	0,00	1,66	1,23	0,89	1,28	0,00	1,59	0,44	1,52	1,42	1,19	1,66	1,30	1,65
	ENE	1,32	1,66	1,77	0,00	0,51	0,75	1,09	0,00	0,70	1,71	1,97	0,00	1,14	0,92	1,69	0,94	1,53	1,73	1,52	1,71	1,23	1,68
	E	1,69	1,70	1,91	0,74	0,00	0,83	1,12	0,00	1,11	1,71	0,91	0,00	0,83	1,25	1,73	1,32	1,47	1,99	1,81	1,71	1,12	1,67
	ESE	2,04	1,68	2,03	1,28	0,00	0,90	1,31	0,00	1,47	1,54	1,04	0,52	0,00	1,62	1,77	1,67	1,44	2,27	2,12	1,54	0,81	1,45
	SE	2,03	1,34	1,54	1,52	0,00	0,78	1,34	0,73	1,59	0,44	0,99	0,75	0,00	1,74	1,29	1,74	1,06	2,08	2,13	0,44	0,00	0,47
Ponderada	1,21	1,60	1,74	0,36	0,38	0,74	1,10	0,03	0,62	1,61	1,08	0,48	0,94	0,72	1,65	0,93	1,48	1,73	1,54	1,61	1,13	1,58	
Ondas Máximas (m)	Direção	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44
	NE	1,68	1,24	1,30	0,85	1,04	1,15	1,24	1,21	1,21	1,29	1,31	1,15	1,18	0,79	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	1,18	0,00	0,62
	ENE	1,69	1,10	1,23	1,35	1,51	1,49	1,56	1,16	0,96	1,57	1,56	1,45	1,49	1,16	0,00	0,67	0,92	0,00	0,00	1,52	0,00	0,88
	E	1,62	0,82	1,12	1,65	1,80	1,75	1,81	1,17	0,80	1,78	1,77	1,71	1,75	1,46	0,00	0,93	1,26	0,65	0,68	1,80	0,00	1,19
	ESE	1,39	0,00	0,81	1,94	2,10	2,04	2,13	1,30	0,98	2,04	2,02	2,00	2,03	1,77	0,00	1,33	1,59	1,12	1,16	2,11	1,08	1,63
	SE	0,63	0,00	0,00	1,91	2,09	1,96	2,14	1,17	1,02	1,86	1,82	1,79	1,80	1,76	0,94	1,52	1,67	1,34	1,39	2,09	1,38	1,76
Ponderada	1,59	0,91	1,13	1,29	1,46	1,49	1,57	1,20	1,04	1,56	1,56	1,46	1,49	1,16	0,04	0,84	0,72	0,31	0,33	1,53	0,22	0,96	
Ondas Máximas (m)	Direção	P45	P46	P47	P48	P49	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63	P64	P65	P66
	NE	0,00	0,00	0,64	0,70	0,65	0,76	1,59	1,59	0,64	1,08	1,57	1,62	1,70	1,59	1,23	1,30	1,26	0,68	1,64	1,62	1,46	0,00
	ENE	0,57	0,60	0,50	0,62	1,16	0,60	1,71	1,70	0,50	0,89	1,70	1,72	1,69	1,54	1,10	1,18	1,26	1,25	1,72	1,62	1,51	0,00
	E	0,77	0,82	0,00	0,47	1,54	0,00	1,83	1,77	0,00	0,59	1,79	1,77	1,62	1,41	0,80	0,94	1,17	1,54	1,76	1,52	1,52	0,00
	ESE	0,99	1,06	0,00	0,00	1,90	0,00	1,92	1,81	0,00	0,00	1,87	1,78	1,34	0,88	0,00	0,56	1,11	1,85	1,70	1,22	1,51	0,00
	SE	1,07	1,15	0,00	0,00	1,93	0,00	1,36	1,15	0,00	0,00	1,29	1,04	0,58	0,62	0,00	0,00	0,94	1,85	0,98	0,00	1,02	0,00
Ponderada	0,44	0,47	0,39	0,51	1,14	0,47	1,69	1,66	0,39	0,76	1,67	1,66	1,59	1,40	0,90	1,05	1,21	1,17	1,66	1,48	1,47	0,00	

A modelagem teórica, como se esperava, indica os maiores valores de ondas para os pontos com as pistas mais extensas no sentido dos ventos predominantes.

Assim, são verificados dois casos típicos para as grandes ondas: o caso dos pontos 3, 55, 56, 15, 10, 20, 2, 57, 22 e 23, situados na margem esquerda com grandes extensões de pistas voltadas para NE, vento de maior predominância, e também para a região da margem direita próxima aos pontos 18, 29, 32, 33, 19, 42 e 35, com grande exposição aos ventos de maior velocidade de E a SE, vindos pela calha principal do reservatório.

Verifica-se que a maior onda teórica, de 2,27 m, está no ponto 18, relacionada ao vento ESE, de maior velocidade, e também à pista efetiva máxima de 5,88 km, para ESE, conforme Tabela 5.1.

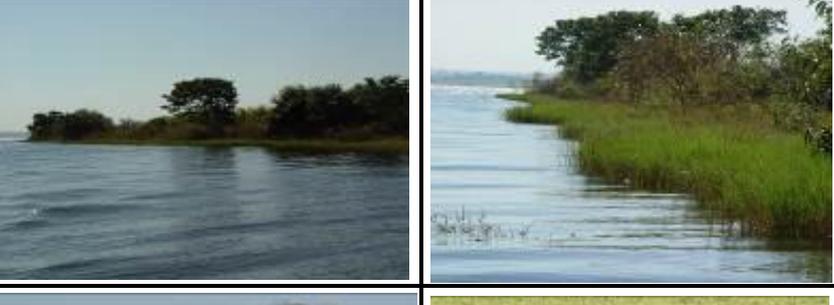
Também são verificadas duas situações típicas para as pequenas ondas: o caso das regiões conformadas pelos pequenos braços do reservatório, para os pontos 11, 12, 37, 38, 43 e 44 ou as margens voltadas para Oeste e adjacências, sem incidência significativa de ventos, para os pontos 4, 5, 8, 47, 48, 50 e 53.

5.2. Evolução de Erosões e Ocupação da Margem

Os dados coletados em campo para os pontos 1 a 65 são apresentados no Relatório de Campo (Anexo B) e exemplificados a seguir, na Tabela 5.3, com a classificação da evolução do processo erosivo, pela altura de desgaste da margem, a vegetação ciliar e o tipo de solo e registros fotográficos, por ponto.

A investigação de campo validou as informações sobre a homogeneidade das condições topográficas e geológicas, confirmando a predominância de relevo suave e solo residual de basalto. Variações pedológicas significativas foram verificadas apenas no ponto 3 que também pela indefinição da vegetação foi excluído da análise de correlação. Também foram encontradas variações significativas na região leste do reservatório, parte mais a montante, sendo esta área excluída para o estudo.

Tabela 5.3 – Exemplo de dados coletados em campo - Fonte: FURNAS, 2011.

Ponto 1	N 7.773.316 E 754.042		
Evolução das Erosões	0		
Vegetação Ciliar	Mata Densa		
Tipo de Solo	Argiloso		
Ponto 9	N 7.772.016 E 759.207		
Evolução das Erosões	70 cm		
Vegetação Ciliar	Pastagem		
Tipo de Solo	Argiloso		
Ponto 13	N 7.770.276 E 763.606		
Evolução das Erosões	0		
Vegetação Ciliar	Arbustiva e Arbórea		
Tipo de Solo	Argiloso		
Ponto 18	N 7.772.876 E 761.826		
Evolução das Erosões	120 cm		
Vegetação Ciliar	Pastagem		
Tipo de Solo	Argiloso		
Ponto 57	N 7.770.042 E 761.687		
Evolução das Erosões	200 cm		
Vegetação Ciliar	Agricultura		
Tipo de Solo	Areno-Argiloso		

Conforme histórico, pelo levantado em campo e informações do proprietário (FURNAS, 2004), a vegetação ciliar existente no ponto 2 é resultado de reflorestamento para recuperação da área degradada, após evolução do processo erosivo. Sua característica predominante era de terra desnuda, justificando a classificação da investigação de campo.

Para os pontos 22, 59, 60, 63 e 64 foi verificado que a vegetação local é proveniente de reflorestamento que foi estruturado a tempo de combater a evolução do processo erosivo e atua como efetiva proteção ciliar. Para os pontos 3, 31 e 53 não foi possível classificar a capacidade de proteção ciliar, seja pela diversidade de solo, vegetação e/ou ocupação.

O resumo das informações de campo está apresentado na Tabela 5.4, para comparação com as ondas máximas ponderadas do modelo teórico.

Tabela 5.4 – Resultado da investigação de campo.

Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
1	754.042	7.773.316	Direita	0	Sim	Predominância de vegetação arbórea nativa.
2	754.364	7.771.539	Esquerda	170	Não	Reflorestamento, após evolução das erosões.
3	756.823	7.771.205	Esquerda	60	Indefinida	Gramíneas e reflorestamento, caract. solo diferente.
4	757.813	7.773.270	Direita	20	Não	Gramíneas exóticas destinadas ao pastoreio.
5	759.457	7.774.550	Direita	0	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramínea.
6	759.585	7.775.201	Direita	0	Não	Agricultura, presença de indivíduos arbóreos escassos.
7	757.182	7.777.744	Direita	0	Sim	Vegetação arbórea nativa, com gramíneas exóticas.
8	758.236	7.777.661	Direita	0	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
9	759.207	7.772.016	Direita	70	Não	Predomínio de gramíneas exóticas destinadas ao pastoreio.
10	758.749	7.769.936	Esquerda	60	Sim	Vegetação arbórea nativa, com gramíneas exóticas.
11	762.750	7.769.193	Esquerda	50	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos.
12	763.200	7.768.808	Esquerda	0	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
13	763.606	7.770.276	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbustiva com presença de indivíduos arbóreos.
14	763.603	7.773.506	Direita	20	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
15	770.665	7.772.743	Esquerda	150	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
16	770.616	7.774.645	Direita	57	Não	Vegetação herbácea, alguns pontos com solo exposto.
17	755.603	7.771.135	Esquerda	80	Não	Gramíneas (<i>Brachiaria</i>), seguida de reflorestamento recente.
18	761.826	7.772.876	Direita	120	Não	Gramíneas destinadas ao pastoreio.
19	762.302	7.773.444	Direita	65	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.
20	758.604	7.769.959	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.
21	768.886	7.772.654	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.
22	759.711	7.769.920	Esquerda	0	Sim	Espécies arbóreas nativas, reflorestamento estabelecido.
23	761.338	7.770.092	Esquerda	140	Não	Agricultura, canavial, inclusive às margens do reservatório.
24	765.374	7.771.169	Esquerda	80	Não	Gramíneas. Construção às margens do reservatório.
25	768.080	7.772.728	Esquerda	80	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
26	768.608	7.774.732	Direita	90	Não	Predominância de gramíneas.
27	766.682	7.774.432	Direita	127	Não	Gramíneas, desmoronamento e perda de solo recentes.
28	765.503	7.774.004	Direita	120	Não	Gramíneas, desmoronamento e perda de solo recentes.

Tabela 5.4 – Resultado da investigação de campo - continuação.

29	762.371	7.773.532	Direita	0	Sim	Área com predominância de vegetação arbórea nativa.
30	756.966	7.774.663	Direita	0	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.
31	762.750	7.769.193	Esquerda	0	Indefinida	Gramíneas, presença abundante de remanescentes arbóreos.
32	761.711	7.772.705	Direita	122	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
33	761.514	7.772.383	Direita	90	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
34	761.020	7.772.185	Direita	50	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
35	760.426	7.772.051	Direita	74	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
36	760.051	7.771.836	Direita	89	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
37	769.344	7.775.520	Direita	20	Sim	Faixa estreita de vegetação arbórea seguida de agricultura.
38	769.022	7.775.498	Direita	35	Não	Faixa estreita com indivíduos arbustivo-arbóreos e gramíneas.
39	759.567	7.771.863	Direita	80	Não	Gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo.
40	758.772	7.772.183	Direita	75	Não	Gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo.
41	758.174	7.772.615	Direita	61	Não	Gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo.
42	762.026	7.773.188	Direita	45	Sim	Vegetação arbórea nativa com gramíneas exóticas.
43	765.838	7.774.684	Direita	0	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
44	765.569	7.774.511	Direita	70	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.
45	758.183	7.774.999	Direita	10	Sim	Vegetação arbórea pioneira. Apresenta gramíneas exóticas.
46	757.916	7.775.032	Direita	41	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
47	758.427	7.774.326	Direita	10	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
48	758.602	7.774.418	Direita	20	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
49	754.487	7.773.336	Direita	75	Não	Cultivo de cana. Indivíduos arbóreos escassos e dispersos.
50	757.834	7.773.773	Direita	23	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.
51	757.305	7.770.891	Esquerda	50	Não	Predominância de canavial.
52	757.882	7.770.471	Esquerda	94	Não	Predominância de canavial.
53	758.288	7.774.191	Direita	30	Indefinida	Vegetação arbórea, pastagem e erosão por acesso de gado.
54	756.370	7.771.036	Esquerda	50	Não	Predominância de vegetação herbácea, seguido de canavial.
55	757.070	7.771.048	Esquerda	90	Não	Colonião (<i>Panicum maximum</i>) e reflorestamento recente.
56	758.102	7.770.272	Esquerda	90	Não	Gramíneas. Presença de indivíduos arbóreos escassos
57	761.687	7.770.042	Esquerda	200	Não	Predomínio de canavial.
58	762.375	7.769.889	Esquerda	170	Não	Predomínio de canavial.
59	764.111	7.770.733	Esquerda	0	Sim	Reflorestamento esp. nativas antigo faixa 40 m e gramíneas.
60	764.624	7.770.936	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbórea e reflorestamento (faixa 40 metros).
61	766.539	7.771.768	Esquerda	65	Não	Faixa de vegetação arbórea estreita e cultivo de milho.
62	767.489	7.774.447	Direita	40	Não	Predomínio de gramíneas destinadas ao pastoreio.
63	758.185	7.770.158	Esquerda	40	Sim	Vegetação arbórea, reflorestamento estável, espécies nativas.
64	760.653	7.769.907	Esquerda	40	Sim	Vegetação arbórea, reflorestamento estável, espécies nativas.
65	770.972	7.772.614	Esquerda	0	Sim	Predomínio de vegetação arbórea nativa.

5.3. Análise da Correlação Onda, Desgaste e Ocupação da Margem

Para a exposição dos resultados, os pontos foram ordenados por sua susceptibilidade aos processos erosivos, em função da altura de onda ponderada, como preconiza o modelo teórico, e agrupados em função da ocupação da orla, com vegetação ciliar preservada ou com atividades de agropecuária, conforme Tabela 5.5.

A Figura 5.1 mostra o mapa com a classificação da ocupação da orla e as escalas de altura de ondas e desgaste da erosão para cada ponto do estudo.

Tabela 5.5 – Comparação de Onda Ponderada, Desgaste e Ocupação da Orla.

Regiões Sem Proteção de Vegetação																		
Ponto	18	55	56	15	2	57	23	33	32	35	28	17	27	34	58	26	61	62
Onda	1,73	1,67	1,66	1,65	1,60	1,59	1,59	1,56	1,56	1,49	1,49	1,48	1,46	1,46	1,40	1,29	1,21	1,17
Desgaste	120	90	90	150	170	200	140	90	122	74	120	80	127	50	170	90	65	40
Ponto	36	25	11	51	52	44	16	24	49	38	54	6	14	39	9	12	46	5
Onda	1,16	1,13	1,08	1,03	1,00	0,96	0,93	0,91	0,87	0,84	0,76	0,74	0,72	0,72	0,62	0,48	0,47	0,38
Desgaste	89	80	50	50	94	70	57	80	75	35	50	0	20	80	70	0	41	0
Ponto	4	41	40	48	43	50	47	8										
Onda	0,36	0,33	0,31	0,22	0,22	0,15	0,13	0,03										
Desgaste	20	61	75	20	0	23	10	0										
Regiões Com Proteção de Vegetação																		
Ponto	63	10	20	22	29	19	42	64	65	1	30	21	7	60	13	59	45	37
Onda	1,66	1,61	1,61	1,58	1,57	1,54	1,53	1,48	1,47	1,21	1,20	1,13	1,10	1,05	0,94	0,90	0,44	0,04
Desgaste	40	60	0	0	0	65	45	40	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0

Pela Tabela 5.5 e Figura 5.2, verifica-se, de forma geral, a correlação direta entre as alturas de ondas e a evolução do processo erosivo, mesmo com alguns desvios, onde o modelo sugere maior evolução do desgaste que o verificado em campo, caso dos pontos 55 e 56, e para outros onde o desgaste superou a expectativa do modelo, caso dos pontos 41 e 40.

Também foi verificado que a existência de vegetação de proteção ciliar, mesmo para pontos com alturas de ondas consideráveis, reduz a criticidade do processo erosivo em relação às demais áreas, com atividades de agropecuária, conforme mostra o gráfico com a distribuição dos pontos, agrupados por tipo de ocupação, da Figura 5.2.

UHE PORTO COLÔMBIA - RESERVATÓRIO ESCALA DE ONDAS E EROSÕES

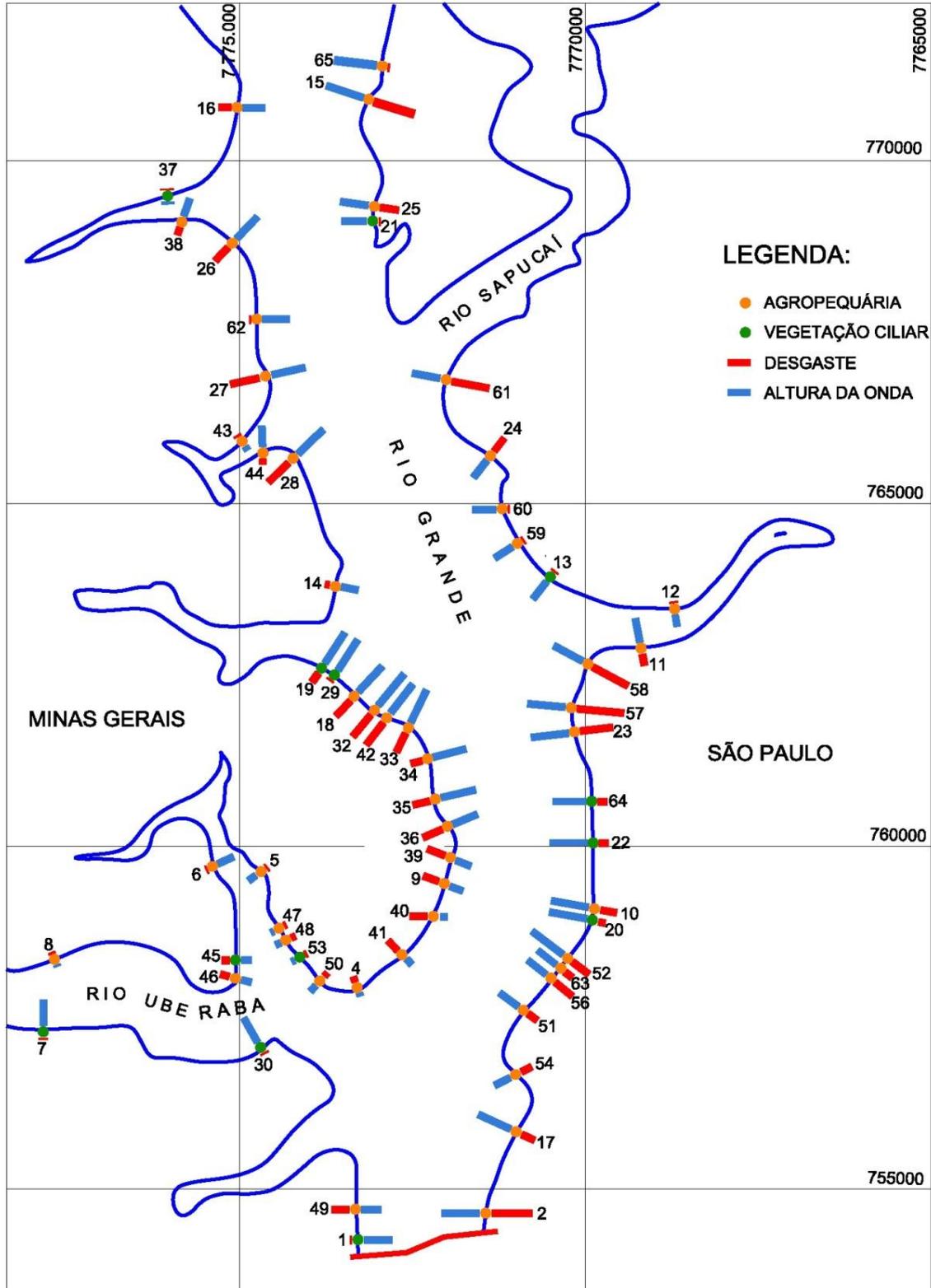


Figura 5.1 – Mapa Geral com a ocupação e escalas de ondas e erosões.

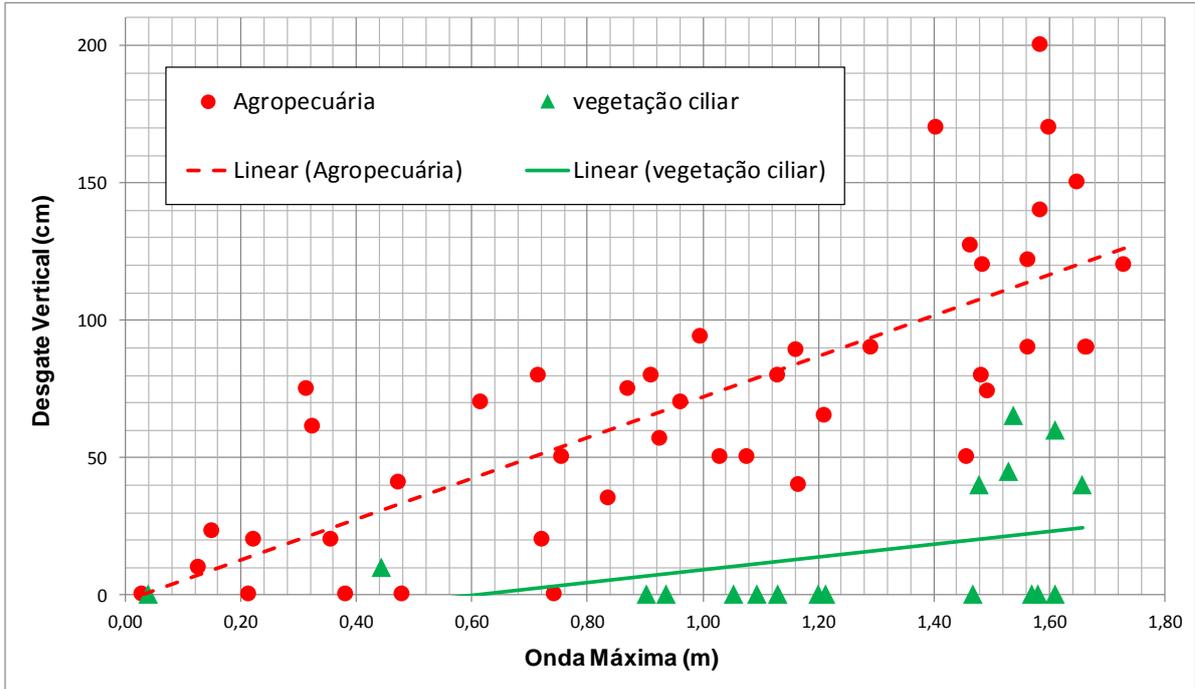


Figura 5.2 – Avaliação do Modelo, Desgaste x Ondas x Ocupação.

Os pontos 40, 41, 57 e 58 que apresentam grande evolução de erosões, têm intensas atividades agropastoris, conforme mostra a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Características dos Pontos Críticos.

Pontos Críticos					
Ponto	Margem	Onda Max. Ponderada (m)	Desgaste (cm)	Caracterização	Fotos
40	Direita	0,31	75	Pastagem Área coberta por gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo, além de arbustos do gênero <i>Mimosa</i> .	 
41	Direita	0,33	61		 
57	Esquerda	1,59	200	Agricultura Predomínio de canavial.	 
58	Esquerda	1,40	170		 

De forma específica, foi observado o impacto causado às margens pela pecuária, contribuindo para o avanço do processo erosivo, principalmente nas regiões de acesso para o gado ao reservatório, conforme situação ilustrada na Figura 5.3, a seguir.



Figura 5.3 – Impacto às margens pela atividade de pecuária – Fonte FURNAS, 2011.

Como resultado positivo, observa-se a maior resistência ao processo erosivo para os pontos onde existe vegetação de proteção ciliar, mesmo com pequeno porte. Ressalta-se que para 66% desses pontos não foi verificado qualquer processo erosivo, sendo mantida a integridade e estabilidade da margem.

Como evidência da atuação da vegetação ciliar, mesmo esparsa, a Figura 5.4 ilustra a resistência ao desgaste da margem imposta por isoladas palmeiras de Bacuri (*Attalea phalerata*), na região estudada, próxima ao ponto 15.



Figura 5.4 – Resistência localizada ao desgaste da margem imposta por Bacuris – Fonte FURNAS, 2011.

5.4 Limitações do Modelo

As delimitações pertinentes ao estudo estão relacionadas, primeiramente, à disponibilidade de informações sobre as condições do vento no próprio local. Mesmo com a confiabilidade das informações do material pesquisado, sua interpretação e adoção para a região do reservatório podem gerar distorções que afetam o modelo teórico apresentado. A implantação de estações para medições de vento na área do próprio reservatório, flutuantes ou em ilhas, é recomendada para maior confiabilidade dos estudos.

Desconsiderados por sua homogeneidade nos locais estudados, os fatores operacionais, topográficos e geológicos do reservatório estão relacionados à erodibilidade das margens. Assim, mesmo com pequenas variações, podem influenciar os resultados obtidos.

Mesmo sabendo que as características de ocupação da orla não tiveram grandes variações ao longo do tempo, a idade das atividades agropecuárias e as datas de desmatamentos e reflorestamentos não foram consideradas no estudo, com exceção do ponto 2 onde foram obtidas informações sobre o histórico de degradação e o posterior reflorestamento.

No que diz respeito à metodologia teórica, o cálculo da altura das ondas máximas ponderadas não tem a pretensão de fornecer valores absolutos, mas sim valores relativos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Na criação de reservatórios artificiais, é comum que suas margens sejam projetadas sobre áreas já alteradas por atividades agropecuárias ou fragmentos florestais, nem sempre preparadas para a essa nova condição.

Assim, as áreas marginais ficam sujeitas às novas condições: pelo lado físico, tornam-se orlas, sujeitas às ações do lago e, pelo lado regulamentar, tornam-se novas Áreas de Proteção Ambiental. A combinação dessas condicionantes tenderia a certo equilíbrio, mas, entretanto, enquanto os efeitos da condição física são imediatos, os da regulamentar são incertos.

Danos ambientais por erosões em margens de reservatórios geram entendimentos diversos, principalmente nas esferas jurídica e governamental, onde, muitas vezes de forma tácita, a causa é atribuída ao próprio lago, sem que sejam considerados, de forma técnica, a interação e o inter-relacionamento dos fatores atuantes no local do dano, assim como as responsabilidades e obrigações de cada parte envolvida.

Mesmo com toda obviedade sobre a importância da vegetação ciliar, as ações para sua recomposição e preservação ainda não parecem óbvias, sendo comum a ocupação e uso inadequados das margens dos reservatórios.

Este estudo, baseado no reservatório da UHE Porto Colômbia, constata: i) a correlação direta entre a altura das ondas geradas pela ação do vento e a evolução do processo erosivo das margens; ii) que a ocupação das margens para atividades agropastoris são fatores agravantes para a evolução das erosões e, iii) por outro lado, que essa ação erosiva é significativamente amenizada pela existência da vegetação de proteção ciliar.

Assim, o trabalho apresenta uma metodologia para análise dos efeitos do vento sobre as margens dos reservatórios, como subsídios para preservação das margens, seja por ações corretivas para os reservatórios já existentes ou preventivas para os novos projetos, recomendando o melhor conhecimento dos fatores geradores das erosões, as áreas com maior susceptibilidade aos processos erosivos e a valorização das áreas de vegetação ciliar como principal elemento de estabilização das faixas marginais e a saudável manutenção de todo o ecossistema terrestre e aquático que envolve um reservatório, bem como de sua relação com a qualidade do solo e da água para os mais diversos fins.

Os resultados gerados neste trabalho fornecem subsídios para medidas mitigatórias associadas à estabilização dos setores do reservatório, em função de sua criticidade.

Essa perspectiva possibilita a melhor escolha entre as alternativas de estabilização das margens, para cada setor, priorizando a adequada recomposição da vegetação em conjunto com as técnicas de bioengenharia de solos que incorpora aspectos ambientais, garantindo soluções eficientes, esteticamente desejadas e com adequada relação custo benefício.

Para casos específicos, o trabalho respaldará os procedimentos clássicos da engenharia civil, como exemplo, na implementação do Modelo de Bhowmik (1976) que permitirá a caracterização quantitativa dos elementos de enrocamento de forma a otimizar a estabilização e consequente proteção das margens do reservatório.

Ainda, em complementação aos estudos de ondas e da capacidade de proteção da vegetação ciliar, deverão ser avaliadas as outras características que afetam a evolução dos processos erosivos, especialmente as características do solo e relevo das margens e a depleção imposta pelo regime operacional do reservatório.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, Odilon Camargo et al. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás, 2001.

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008 – disponível em www.aneel.gov.br.

BARBOSA, L.M. coord. Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

BARROS Nathan et al, Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude, Nature Geoscience, Letters, 2011.

BHOWMIK, Nani G. Development of Criteria for Shore Protection Against Wind-Generated Waves for Lakes and Ponds in Illinois, ILLINOIS STATE WATER SURVEY Urbana, Illinois, 1976.

BRASIL. Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 16 set. 1965.

BRASIL. Lei nº 7803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei 4771/65 e revoga as Leis 6536 e 7511. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 20 jul. 1989.

BRASIL. Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 02 set. 1981.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 004, de 18 de setembro de 1985. Dispõe sobre Reservas Ecológicas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 jan. 1986.

BRASIL. Medida Provisória nº 2.080-63, de 17 de maio de 2001, altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à lei nº 4.771. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mai. 2001.

BROWN JR., K. S. & BROWN, G. G., Habitat alteration and species loss in Brazilian forests. Chapman & Hall, London, 1992.

CARVALHO, J.C.; SALES, M.M; SOUZA, N.M.; MELO, M.T.S. Processos erosivos no centro-oeste brasileiro. Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, CBDB – CIGB/ICOLD, 2003.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional – 2010: Ano base 2009. Rio de Janeiro, EPE, 2010.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., Arquivo Técnico, Rio de Janeiro: 2011.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A., Usina Hidrelétrica de Porto Colômbia – Diagnóstico Ambiental, Arquivo Técnico, Rio de Janeiro, 2004.

GOOGLE, Google Earth: A 3D Interface to the Planet, Version 5.2.1.1588, Google, 2010.

MACIEL, Geraldo de Freitas et al, Previsão Automatizada de Ondas em Lagos de Barragens, XXII Congresso Latino Americano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela, 2006.

MARQUES, Marcelo, Sistema Automatizado para Estimativa de Ondas Geradas por Vento em Reservatórios de Barragens, Dissertação de Mestrado, Orientador: Prof. Dr. Geraldo de Freitas Maciel, UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2005.

MARTINS, Sueli Sato. Recomposição de matas ciliares no Paraná. Maringá: Clichetec, 2005.

MÜLLER, A. C. Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: Makron Books, 1995. 412p.

REICHARD, Klaus. Relações água-solo-planta em mata ciliar. In Simpósio sobre mata ciliar. Anais do Simpósio sobre Mata Ciliar. Campinas: Fundação Cargil, 1989.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações. GUERRA, A. T. G. (Org) Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil. p 229 – 267, 1999.

SAVILLE Jr. et al, Freeboard Allowances for waves in Inland Reservoir, Journal of Waterways and Harbours Division of the A.S.C.E, 1962.

SCHREIBER, Gerhard Paul. Usinas Hidrelétricas. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

SIQUEIRA, Alessandra G. et al, Erosão em Margens de Reservatórios, Revista ABGE, nº 89, Janeiro 2011.

SOUZA, Podalyro Amaral. Experiências de Laboratório, Ondas de Oscilação. São Paulo: Escola Politécnica USP, 2004.

TENNESSEE VALLEY AUTHORITY – TVA. No. 7 in Riparian Restoration Fact Sheets Series, Understanding Erosion. Disponível em: www.tva.gov/river/landshore/stabilization. Acesso em 30 mar 2011.

ANEXO A – Memória de Cálculo das Pistas

A modelagem utilizou como base imagens de satélite e aplicativos do Google Earth, para a medição das pistas vento e determinação dos comprimentos, aplicando o método de Saville para determinação da pista efetiva, com intervalos de 11,25 graus.

O processo foi executado para as cinco direções predominantes para os ventos da região (NE, ENE, E, ESE, SE), gerando pistas efetivas para cada situação.

Assim, seguindo o método de Saville, foi considerado o leque de influência de 45 graus, a cada 11,25 graus, resultando num conjunto de 17 medições por ponto, envolvendo todas as direções predominantes e seus leques de influência, conforme tabela a seguir:

Direções para Medição de Pistas de Vento - Pontos Cardeais e Ângulos																
N		NNE		NE		ENE		E		ESE		SE		SSE		S
0	11,25	22,5	33,75	45	56,25	67,5	78,75	90	101,25	112,5	123,75	135	146,25	157,5	168,75	180

A partir das pistas medidas, foram calculadas as pistas efetivas para cada direção predominante, considerando as projeções de seus leques de influência, como razão do somatório ($L \times \cos$) pelo somatório dos cossenos.

As planilhas a seguir mostram os valores de pistas específicas e efetivas, obtidos para cada ponto do estudo.

Direção	Pistas de Vento (m)																
Cardeal	N		NNE		NE		ENE		E		ESE		SE		SSE		S
Angulo	0	11,25	22,5	33,75	45	56,25	67,5	78,75	90	101,25	112,5	123,75	135	146,25	157,5	168,75	180
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	3660	11260	8050	5960	3210	2640	2100	1890	1240
P2	1820	1780	2010	2790	4950	4150	3810	4190	11100	2140	1980	0	0	0	0	0	0
P3	2950	4030	2230	2020	1880	1960	2180	16010	8370	6670	3260	2270	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4450	3880	3580	3300	2630
P5	570	620	850	940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	300	400	960	930	1050	310	260	260	240	230	260	270	380
P7	0	0	2150	2210	1910	1380	860	900	950	1040	1160	1240	1860	1960	2190	2360	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1300	1640
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4630	3700	2760	2540	2180	2110	2080
P10	2160	2100	2050	2340	5670	6690	14090	6680	820	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	6400	4850	5370	1000	810	560	510	430	420	450	440	690	2420	880	0	0	0
P12	4710	4670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1250	910	720
P13	3210	3250	3710	4870	5960	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4300	4790	2870	2820	2870	2680	2750	3090
P15	1860	1970	2980	2340	2390	2450	8810	5210	12740	1350	310	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	1490	2020	6050	4420	3080	2560	2240	2030	1860
P17	3210	2500	3450	4700	3030	2990	3190	3810	8740	0	0	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	700	1680	1410	1720	10280	15990	6430	3990	3450	3140	3110	3740	3030	2790
P19	0	0	0	0	990	780	710	740	17870	5120	4180	3825	3490	3250	3340	4420	3620
P20	2160	2100	2050	2340	5670	6690	14090	6680	820	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	2390	2660	2410	2500	4050	3670	4030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P22	1890	1980	2300	2820	5170	8250	13130	4560	970	0	0	0	0	0	0	0	0
P23	2160	3110	3970	4050	5550	8140	11790	2490	2080	0	0	0	0	0	0	0	0
P24	2740	3320	3540	3940	5790	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P25	2390	2660	2410	2500	4050	3670	4030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P26	0	0	0	0	1030	990	1020	1150	3290	9320	6470	4080	2780	2360	2210	2050	1910
P27	0	0	0	0	0	0	0	0	15260	9740	5720	2960	2620	2160	2080	3130	2710
P28	0	0	0	710	720	780	1010	4560	10350	7290	3270	2650	4070	3140	2370	2220	2660
P29	0	0	1510	1110	890	670	620	610	17770	5150	4650	3800	3570	3300	3360	4350	3510
P30	1630	5160	3060	2490	910	830	950	1470	2520	1460	1360	1220	1240	1270	0	0	0
P31	6130	4410	4870	1310	780	600	480	440	400	430	440	470	540	870	1600	870	590
P32	0	0	310,67	826,16	1682,72	1508	2040	10500	6740	4920	3410	2640	2850	3040	3630	2710	2570
P33	0	0	0	1220	1860	1960	2500	10800	5710	4060	3490	2850	2680	3150	3830	2450	2300
P34	0	0	0	0	0	0	0	11700	6580	4390	3340	2880	3310	2650	2220	2050	2080
P35	0	0	0	0	0	0	0	12410	7330	4900	3600	3600	2300	2400	2040	2050	2040
P36	0	0	0	0	0	0	0	1284	5750	4390	3760	3900	2430	2040	2080	1920	1860
P37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2860	2820
P38	420	720	530	400	345	310	310	330	360	370	440	650	4290	3390	2810	2850	2770
P39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4800	4200	3490	2430	2230	2100	1930	1930
P40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3110	2760	2450	2370	2260
P41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3460	2990	2780	2560	2290
P42	0	0	0	180	440	1070	1050	1520	16230	5750	3960	3830	3190	3070	3530	3640	3140
P43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2860	5520	2960	3080
P44	410	340	290	320	300	320	350	370	460	780	4590	3330	2820	5540	3030	2790	3200
P45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1330	1080	840	750	690	680	740	870
P46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1590	1230	1000	880	850	930	990	1160
P47	790	770	820	940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P48	650	660	710	820	1030	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P49	0	1000	0	0	0	0	0	0	3200	3760	9480	6060	2990	2920	2230	2010	1880
P50	1310	1290	1320	1470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P51	5570	2290	1980	1860	1970	2160	2610	16480	6750	4020	2450	1600	0	0	0	0	0
P52	2520	1990	1930	1950	2130	2610	11340	9740	5610	2160	1240	780	0	0	0	0	0
P53	790	770	820	940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P54	2430	3370	2790	2510	2380	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P55	2520	4020	2040	1890	1790	1940	2320	15920	7310	4410	1810	0	0	0	0	0	0
P56	2400	2040	1930	2170	2190	3440	12490	9530	5330	1570	870	0	0	0	0	0	0
P57	2660	3590	3780	4070	6200	9290	11410	1840	1710	0	0	0	0	0	0	0	0
P58	3690	3720	3800	4830	6710	10910	1230	1080	970	925	0	0	0	0	0	0	0
P59	2760	2990	3490	4300	5410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P60	2710	3040	3790	4350	5160	1230	770	610	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P61	2580	2770	2890	3390	4460	900	990	1120	1320	1640	2240	0	0	0	0	0	0
P62									4940	9300	4880	2990	2260	2000	2020	1840	1930
P63	2350	2150	2010	2120	2350	6180	12590	7520	5220	1350	110						
P64	2140	2350	3690	4380	5260	8330	12340										
P65	2020	2490	2340	2240	2250	2950	6160	4810	6460	1070							

Pista - Comprimento Efetivo (m) - $Le = \text{Soma (L*Cos)} / \text{Soma Cos}$											
Direção Principal NE e Leque Influência											
Angulo	0	11,25	22,5	33,75	45	56,25	67,5	78,75	90	soma	L efetivo
Cos	0,7071	0,8315	0,9239	0,9808	1,0000	0,9808	0,9239	0,8315	0,7071	7,8865	
Pontos	L* Cos										soma
P1	-	-	-	-	-	-	-	-	2.588	2.588	328
P2	1.287	1.480	1.857	2.736	4.950	4.070	3.520	3.484	7.849	31.233	3.960
P3	2.086	3.351	2.060	1.981	1.880	1.922	2.014	13.312	5.918	34.525	4.378
P4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P5	403	516	785	922	-	-	-	-	-	2.626	333
P6	-	-	-	-	300	392	887	773	742	3.095	392
P7	-	-	1.986	2.168	1.910	1.353	795	748	672	9.632	1.221
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P10	1.527	1.746	1.894	2.295	5.670	6.561	13.017	5.554	580	38.845	4.926
P11	4.525	4.033	4.961	981	810	549	471	358	297	16.985	2.154
P12	3.330	3.883	-	-	-	-	-	-	-	7.213	915
P13	2.270	2.702	3.428	4.776	5.960	-	-	-	-	19.136	2.426
P14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P15	1.315	1.638	2.753	2.295	2.390	2.403	8.139	4.332	9.009	34.274	4.346
P16	-	-	-	-	-	-	-	-	1.054	1.054	134
P17	2.270	2.079	3.187	4.610	3.030	2.933	2.947	3.168	6.180	30.403	3.855
P18	-	-	-	687	1.680	1.383	1.589	8.548	11.307	25.193	3.194
P19	-	-	-	-	990	765	656	615	12.636	15.662	1.986
P20	1.527	1.746	1.894	2.295	5.670	6.561	13.017	5.554	580	38.845	4.926
P21	1.690	2.212	2.227	2.452	4.050	3.599	3.723	-	-	19.953	2.530
P22	1.336	1.646	2.125	2.766	5.170	8.091	12.131	3.792	686	37.743	4.786
P23	1.527	2.586	3.668	3.972	5.550	7.984	10.893	2.070	1.471	39.720	5.037
P24	1.937	2.760	3.271	3.864	5.790	-	-	-	-	17.623	2.235
P25	1.690	2.212	2.227	2.452	4.050	3.599	3.723	-	-	19.953	2.530
P26	-	-	-	-	1.030	971	942	956	2.326	6.226	789
P27	-	-	-	-	-	-	-	-	10.790	10.790	1.368
P28	-	-	-	696	720	765	933	3.792	7.319	14.225	1.804
P29	-	-	1.395	1.089	890	657	573	507	12.565	17.676	2.241
P30	1.153	4.290	2.827	2.442	910	814	878	1.222	1.782	16.318	2.069
P31	4.335	3.667	4.499	1.285	780	588	443	366	283	16.246	2.060
P32	-	-	287	810	1.683	1.479	1.885	8.730	4.766	19.640	2.490
P33	-	-	-	1.197	1.860	1.922	2.310	8.980	4.038	20.306	2.575
P34	-	-	-	-	-	-	-	9.728	4.653	14.381	1.823
P35	-	-	-	-	-	-	-	10.319	5.183	15.502	1.966
P36	-	-	-	-	-	-	-	1.068	4.066	5.133	651
P37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P38	297	599	490	392	345	304	286	274	255	3.242	411
P39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P42	-	-	-	177	440	1.049	970	1.264	11.476	15.376	1.950
P43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P44	290	283	268	314	300	314	323	308	325	2.725	345
P45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P47	559	640	758	922	-	-	-	-	-	2.878	365
P48	460	549	656	804	1.030	206	-	-	-	3.705	470
P49	-	831	-	-	-	-	-	-	2.263	3.094	392
P50	926	1.073	1.220	1.442	-	-	-	-	-	4.660	591
P51	3.939	1.904	1.829	1.824	1.970	2.118	2.411	13.703	4.773	34.472	4.371
P52	1.782	1.655	1.783	1.913	2.130	2.560	10.477	8.099	3.967	34.364	4.357
P53	559	640	758	922	-	-	-	-	-	2.878	365
P54	1.718	2.802	2.578	2.462	2.380	-	-	-	-	11.940	1.514
P55	1.782	3.343	1.885	1.854	1.790	1.903	2.143	13.237	5.169	33.105	4.198
P56	1.697	1.696	1.783	2.128	2.190	3.374	11.539	7.924	3.769	36.101	4.578
P57	1.881	2.985	3.492	3.992	6.200	9.111	10.541	1.530	1.209	40.942	5.191
P58	2.609	3.093	3.511	4.737	6.710	10.700	1.136	898	686	34.081	4.321
P59	1.952	2.486	3.224	4.217	5.410	-	-	-	-	17.289	2.192
P60	1.916	2.528	3.502	4.266	5.160	1.206	711	507	-	19.797	2.510
P61	1.824	2.303	2.670	3.325	4.460	883	915	931	933	18.244	2.313
P62	-	-	-	-	-	-	-	-	3.493	3.493	443
P63	1.662	1.788	1.857	2.079	2.350	6.061	11.632	6.253	3.691	37.372	4.739
P64	1.513	1.954	3.409	4.296	5.260	8.170	11.401	-	-	36.003	4.565
P65	1.428	2.070	2.162	2.197	2.250	2.893	5.691	3.999	4.568	27.259	3.456

Pista - Comprimento Efetivo (m) - $Le = \text{Soma (L*Cos)} / \text{Soma Cos}$											
Direção Principal ENE e Leque Influência											
Angulo	22,5	33,75	45	56,25	67,5	78,75	90	101,25	112,5	soma	L efetivo
Cos	0,7071	0,8315	0,9239	0,9808	1,0000	0,9808	0,9239	0,8315	0,7071	7,8865	
Pontos	L* Cos										soma
P1	-	-	-	-	-	-	3.381	9.362	5.692	18.436	2.338
P2	1.421	2.320	4.573	4.070	3.810	4.109	10.255	1.779	1.400	33.739	4.278
P3	1.577	1.680	1.737	1.922	2.180	15.702	7.733	5.546	2.305	40.382	5.120
P4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P5	601	782	-	-	-	-	-	-	-	1.383	175
P6	-	-	277	392	960	912	970	258	184	3.953	501
P7	1.520	1.838	1.765	1.353	860	883	878	865	820	10.781	1.367
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P9	-	-	-	-	-	-	-	-	3.274	3.274	415
P10	1.450	1.946	5.238	6.561	14.090	6.552	758	-	-	36.594	4.640
P11	3.797	831	748	549	510	422	388	374	311	7.931	1.006
P12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P13	2.623	4.049	5.506	-	-	-	-	-	-	12.179	1.544
P14	-	-	-	-	-	-	-	3.575	3.387	6.962	883
P15	2.107	1.946	2.208	2.403	8.810	5.110	11.770	1.122	219	35.696	4.526
P16	-	-	-	-	-	-	1.377	1.680	4.278	7.334	930
P17	2.440	3.908	2.799	2.933	3.190	3.737	8.075	-	-	27.081	3.434
P18	-	582	1.552	1.383	1.720	10.082	14.773	5.346	2.821	38.260	4.851
P19	-	-	915	765	710	726	16.510	4.257	2.956	26.838	3.403
P20	1.450	1.946	5.238	6.561	14.090	6.552	758	-	-	36.594	4.640
P21	1.704	2.079	3.742	3.599	4.030	-	-	-	-	15.154	1.922
P22	1.626	2.345	4.776	8.091	13.130	4.472	896	-	-	35.338	4.481
P23	2.807	3.367	5.128	7.984	11.790	2.442	1.922	-	-	35.440	4.494
P24	2.503	3.276	5.349	-	-	-	-	-	-	11.128	1.411
P25	1.704	2.079	3.742	3.599	4.030	-	-	-	-	15.154	1.922
P26	-	-	952	971	1.020	1.128	3.040	7.749	4.575	19.434	2.464
P27	-	-	-	-	-	-	14.098	8.099	4.045	26.242	3.327
P28	-	590	665	765	1.010	4.472	9.562	6.061	2.312	25.439	3.226
P29	1.068	923	822	657	620	598	16.417	4.282	3.288	28.676	3.636
P30	2.164	2.070	841	814	950	1.442	2.328	1.214	962	12.784	1.621
P31	3.444	1.089	721	588	480	432	370	358	311	7.792	988
P32	220	687	1.555	1.479	2.040	10.298	6.227	4.091	2.411	29.008	3.678
P33	-	1.014	1.718	1.922	2.500	10.592	5.275	3.376	2.468	28.867	3.660
P34	-	-	-	-	-	11.475	6.079	3.650	2.362	23.566	2.988
P35	-	-	-	-	-	12.172	6.772	4.074	2.546	25.563	3.241
P36	-	-	-	-	-	1.259	5.312	3.650	2.659	12.881	1.633
P37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P38	375	333	319	304	310	324	333	308	311	2.915	370
P39	-	-	-	-	-	-	-	3.991	2.970	6.961	883
P40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P42	-	150	407	1.049	1.050	1.491	14.995	4.781	2.800	26.722	3.388
P43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P44	205	266	277	314	350	363	425	649	3.246	6.094	773
P45	-	-	-	-	-	-	-	1.106	764	1.870	237
P46	-	-	-	-	-	-	-	1.322	870	2.192	278
P47	580	782	-	-	-	-	-	-	-	1.361	173
P48	502	682	952	206	-	-	-	-	-	2.341	297
P49	-	-	-	-	-	-	2.956	3.126	6.703	12.786	1.621
P50	933	1.222	-	-	-	-	-	-	-	2.156	273
P51	1.400	1.547	1.820	2.118	2.610	16.163	6.236	3.343	1.732	36.970	4.688
P52	1.365	1.621	1.968	2.560	11.340	9.553	5.183	1.796	877	36.262	4.598
P53	580	782	-	-	-	-	-	-	-	1.361	173
P54	1.973	2.087	2.199	-	-	-	-	-	-	6.259	794
P55	1.442	1.571	1.654	1.903	2.320	15.614	6.754	3.667	1.280	36.205	4.591
P56	1.365	1.804	2.023	3.374	12.490	9.347	4.924	1.305	615	37.248	4.723
P57	2.673	3.384	5.728	9.111	11.410	1.805	1.580	-	-	35.691	4.526
P58	2.687	4.016	6.199	10.700	1.230	1.059	896	769	-	27.557	3.494
P59	2.468	3.575	4.998	-	-	-	-	-	-	11.041	1.400
P60	2.680	3.617	4.767	1.206	770	598	-	-	-	13.639	1.729
P61	2.044	2.819	4.121	883	990	1.098	1.220	1.364	1.584	16.121	2.044
P62	-	-	-	-	-	-	4.564	7.733	3.451	15.747	1.997
P63	1.421	1.763	2.171	6.061	12.590	7.376	4.823	1.122	78	37.405	4.743
P64	2.609	3.642	4.860	8.170	12.340	-	-	-	-	31.621	4.009
P65	1.655	1.862	2.079	2.893	6.160	4.718	5.968	890	-	26.225	3.325

Pista - Comprimento Efetivo (m) - $Le = \text{Soma}(L \cdot \text{Cos}) / \text{Soma Cos}$											
Direção Principal E e Leque Influência											
Angulo	45	56,25	67,5	78,75	90	101,25	112,5	123,75	135	soma	L efetivo
Cos	0,7071	0,8315	0,9239	0,9808	1,0000	0,9808	0,9239	0,8315	0,7071	7,8865	
Pontos	L * Cos										soma
P1	-	-	-	-	3.660	11.044	7.437	4.956	2.270	29.366	3.724
P2	3.500	3.451	3.520	4.109	11.100	2.099	1.829	-	-	29.608	3.754
P3	1.329	1.630	2.014	15.702	8.370	6.542	3.012	1.887	-	40.487	5.134
P4	-	-	-	-	-	-	-	-	3.147	3.147	399
P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P6	212	333	887	912	1.050	304	240	216	170	4.324	548
P7	1.351	1.147	795	883	950	1.020	1.072	1.031	1.315	9.563	1.213
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P9	-	-	-	-	-	-	4.278	3.076	1.952	9.306	1.180
P10	4.009	5.563	13.017	6.552	820	-	-	-	-	29.961	3.799
P11	573	466	471	422	420	441	407	574	1.711	5.484	695
P12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P13	4.214	-	-	-	-	-	-	-	-	4.214	534
P14	-	-	-	-	-	4.217	4.425	2.386	1.994	13.023	1.651
P15	1.690	2.037	8.139	5.110	12.740	1.324	286	-	-	31.327	3.972
P16	-	-	-	-	1.490	1.981	5.589	3.675	2.178	14.914	1.891
P17	2.143	2.486	2.947	3.737	8.740	-	-	-	-	20.053	2.543
P18	1.188	1.172	1.589	10.082	15.990	6.306	3.686	2.869	2.220	45.103	5.719
P19	700	649	656	726	17.870	5.022	3.862	3.180	2.468	35.132	4.455
P20	4.009	5.563	13.017	6.552	820	-	-	-	-	29.961	3.799
P21	2.864	3.051	3.723	-	-	-	-	-	-	9.639	1.222
P22	3.656	6.860	12.131	4.472	970	-	-	-	-	28.088	3.562
P23	3.924	6.768	10.893	2.442	2.080	-	-	-	-	26.107	3.310
P24	4.094	-	-	-	-	-	-	-	-	4.094	519
P25	2.864	3.051	3.723	-	-	-	-	-	-	9.639	1.222
P26	728	823	942	1.128	3.290	9.141	5.978	3.392	1.966	27.388	3.473
P27	-	-	-	-	15.260	9.553	5.285	2.461	1.853	34.411	4.363
P28	509	649	933	4.472	10.350	7.150	3.021	2.203	2.878	32.165	4.079
P29	629	557	573	598	17.770	5.051	4.296	3.160	2.524	35.159	4.458
P30	643	690	878	1.442	2.520	1.432	1.256	1.014	877	10.753	1.363
P31	552	499	443	432	400	422	407	391	382	3.926	498
P32	1.190	1.254	1.885	10.298	6.740	4.825	3.150	2.195	2.015	33.553	4.254
P33	1.315	1.630	2.310	10.592	5.710	3.982	3.224	2.370	1.895	33.028	4.188
P34	-	-	-	11.475	6.580	4.306	3.086	2.395	2.341	30.182	3.827
P35	-	-	-	12.172	7.330	4.806	3.326	2.993	1.626	32.253	4.090
P36	-	-	-	1.259	5.750	4.306	3.474	3.243	1.718	19.750	2.504
P37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P38	244	258	286	324	360	363	407	540	3.033	5.815	737
P39	-	-	-	-	-	4.708	3.880	2.902	1.718	13.208	1.675
P40	-	-	-	-	-	-	-	-	2.199	2.199	279
P41	-	-	-	-	-	-	-	-	2.447	2.447	310
P42	311	890	970	1.491	16.230	5.640	3.659	3.185	2.256	34.630	4.391
P43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P44	212	266	323	363	460	765	4.241	2.769	1.994	11.393	1.445
P45	-	-	-	-	-	1.304	998	698	530	3.531	448
P46	-	-	-	-	-	1.559	1.136	831	622	4.150	526
P47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P48	728	175	-	-	-	-	-	-	-	903	114
P49	-	-	-	-	3.200	3.688	8.758	5.039	2.114	22.799	2.891
P50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P51	1.393	1.796	2.411	16.163	6.750	3.943	2.264	1.330	-	36.050	4.571
P52	1.506	2.170	10.477	9.553	5.610	2.118	1.146	649	-	33.229	4.213
P53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P54	1.683	-	-	-	-	-	-	-	-	1.683	213
P55	1.266	1.613	2.143	15.614	7.310	4.325	1.672	-	-	33.944	4.304
P56	1.549	2.860	11.539	9.347	5.330	1.540	804	-	-	32.969	4.180
P57	4.384	7.724	10.541	1.805	1.710	-	-	-	-	26.165	3.318
P58	4.745	9.071	1.136	1.059	970	907	-	-	-	17.889	2.268
P59	3.825	-	-	-	-	-	-	-	-	3.825	485
P60	3.649	1.023	711	598	-	-	-	-	-	5.981	758
P61	3.154	748	915	1.098	1.320	1.608	2.069	-	-	10.913	1.384
P62	-	-	-	-	4.940	9.121	4.509	2.486	1.598	22.654	2.873
P63	-	-	-	-	-	4.845	8.592	4.058	2.114	19.609	2.486
P64	1.499	1.954	5.710	12.348	7.520	5.120	1.247	91	-	35.489	4.500
P65	3.097	4.374	7.696	12.103	-	-	-	-	-	27.269	3.458

Pista - Comprimento Efetivo (m) - $Le = \text{Soma (L*Cos)} / \text{Soma Cos}$											
Direção Principal ESE e Leque Influência											
Angulo	67,5	78,75	90	101,25	112,5	123,75	135	146,25	157,5	soma	L efetivo
Cos	0,7071	0,8315	0,9239	0,9808	1,0000	0,9808	0,9239	0,8315	0,7071	7,8865	
Pontos	L* Cos										soma
P1	-	-	3.381	11.044	8.050	5.845	2.966	2.195	1.485	34.966	4.434
P2	2.694	3.484	10.255	2.099	1.980	-	-	-	-	20.512	2.601
P3	1.541	13.312	7.733	6.542	3.260	2.226	-	-	-	34.614	4.389
P4	-	-	-	-	-	-	4.111	3.226	2.531	9.869	1.251
P5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P6	679	773	970	304	260	255	222	191	184	3.838	487
P7	608	748	878	1.020	1.160	1.216	1.718	1.630	1.549	10.527	1.335
P8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P9	-	-	-	-	4.630	3.629	2.550	2.112	1.541	14.462	1.834
P10	9.963	5.554	758	-	-	-	-	-	-	16.275	2.064
P11	361	358	388	441	440	677	2.236	732	-	5.632	714
P12	-	-	-	-	-	-	-	-	884	884	112
P13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P14	-	-	-	4.217	4.790	2.815	2.605	2.386	1.895	18.709	2.372
P15	6.230	4.332	11.770	1.324	310	-	-	-	-	23.966	3.039
P16	-	-	1.377	1.981	6.050	4.335	2.846	2.129	1.584	20.301	2.574
P17	2.256	3.168	8.075	-	-	-	-	-	-	13.498	1.712
P18	1.216	8.548	14.773	6.306	3.990	3.384	2.901	2.586	2.645	46.348	5.877
P19	502	615	16.510	5.022	4.180	3.752	3.224	2.702	2.362	38.869	4.929
P20	9.963	5.554	758	-	-	-	-	-	-	16.275	2.064
P21	2.850	-	-	-	-	-	-	-	-	2.850	361
P22	9.284	3.792	896	-	-	-	-	-	-	13.972	1.772
P23	8.337	2.070	1.922	-	-	-	-	-	-	12.329	1.563
P24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P25	2.850	-	-	-	-	-	-	-	-	2.850	361
P26	721	956	3.040	9.141	6.470	4.002	2.568	1.962	1.563	30.423	3.858
P27	-	-	14.098	9.553	5.720	2.903	2.421	1.796	1.471	37.962	4.814
P28	714	3.792	9.562	7.150	3.270	2.599	3.760	2.611	1.676	35.134	4.455
P29	438	507	16.417	5.051	4.650	3.727	3.298	2.744	2.376	39.209	4.972
P30	672	1.222	2.328	1.432	1.360	1.197	1.146	1.056	-	10.412	1.320
P31	339	366	370	422	440	461	499	723	1.131	4.751	602
P32	1.442	8.730	6.227	4.825	3.410	2.589	2.633	2.528	2.567	34.952	4.432
P33	1.768	8.980	5.275	3.982	3.490	2.795	2.476	2.619	2.708	34.094	4.323
P34	-	9.728	6.079	4.306	3.340	2.825	3.058	2.203	1.570	33.109	4.198
P35	-	10.319	6.772	4.806	3.600	3.531	2.125	1.996	1.442	34.590	4.386
P36	-	1.068	5.312	4.306	3.760	3.825	2.245	1.696	1.471	23.683	3.003
P37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P38	219	274	333	363	440	638	3.963	2.819	1.987	11.036	1.399
P39	-	-	-	4.708	4.200	3.423	2.245	1.854	1.485	17.915	2.272
P40	-	-	-	-	-	-	2.873	2.295	1.732	6.901	875
P41	-	-	-	-	-	-	3.197	2.486	1.966	7.648	970
P42	742	1.264	14.995	5.640	3.960	3.756	2.947	2.553	2.496	38.353	4.863
P43	-	-	-	-	-	-	-	2.378	3.903	6.281	796
P44	247	308	425	765	4.590	3.266	2.605	4.606	2.143	18.955	2.404
P45	-	-	-	1.304	1.080	824	693	574	481	4.956	628
P46	-	-	-	1.559	1.230	981	813	707	658	5.948	754
P47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P49	-	-	2.956	3.688	9.480	5.944	2.762	2.428	1.577	28.835	3.656
P50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P51	1.846	13.703	6.236	3.943	2.450	1.569	-	-	-	29.746	3.772
P52	8.019	8.099	5.183	2.118	1.240	765	-	-	-	25.424	3.224
P53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P55	1.640	13.237	6.754	4.325	1.810	-	-	-	-	27.766	3.521
P56	8.832	7.924	4.924	1.540	870	-	-	-	-	24.090	3.055
P57	8.068	1.530	1.580	-	-	-	-	-	-	11.178	1.417
P58	870	898	896	907	-	-	-	-	-	3.571	453
P59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P60	544	507	-	-	-	-	-	-	-	1.052	133
P61	700	931	1.220	1.608	2.240	-	-	-	-	6.699	849
P62	-	-	4.564	9.121	4.880	2.933	2.088	1.663	1.428	26.677	3.383
P63	-	-	-	4.845	9.300	4.786	2.762	1.879	1.414	24.987	3.168
P64	4.370	10.468	6.948	5.120	1.350	108	-	-	-	28.363	3.596
P65	5.890	10.260	-	-	-	-	-	-	-	16.151	2.048

ANEXO B - Relatório de Campo

A investigação de campo validou as informações sobre a homogeneidade das condições topográficas e geológicas, confirmando a predominância de relevo suave e solo residual de basalto. Variações pedológicas significativas foram verificadas apenas no ponto 3 que também pela indefinição da vegetação foi excluído da análise de correlação. Também foram encontradas variações significativas na região leste do reservatório, parte mais a montante, sendo esta área excluída para o estudo.

Para a caracterização da vegetação ciliar, foram seguidos os seguintes conceitos:

- Herbáceas - plantas pequeno porte, caule tenro, não lenhoso.
- Arbustivas - plantas lenhosas, de pequeno porte e que apresentam o caule dividido desde a base.
- Arbóreas - plantas lenhosas, de porte avantajado, providas de um tronco que se ramifica na parte superior formando uma copa.

Os dados coletados em campo para os pontos 1 a 65 são apresentados a seguir, com a localização, medição da evolução do processo erosivo, pela altura de desgaste da margem, e caracterização da vegetação ciliar e registros fotográficos, por ponto.

Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
1	754.042	7.773.316	Direita	0	Sim	Predominância de vegetação arbórea nativa.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
2	754.364	7.771.539	Esquerda	170	Não	Reflorestamento, após evolução das erosões.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
3	756.823	7.771.205	Esquerda	60	Indefinida	Gramíneas e reflorestamento, caract. solo diferente.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
4	757.813	7.773.270	Direita	20	Não	Gramíneas exóticas destinadas ao pastoreio.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
5	759.457	7.774.550	Direita	0	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramínea.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
6	759.585	7.775.201	Direita	0	Não	Agricultura, presença de indivíduos arbóreos escassos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
7	757.182	7.777.744	Direita	0	Sim	Vegetação arbórea nativa, com gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
8	758.236	7.777.661	Direita	0	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
9	759.207	7.772.016	Direita	70	Não	Predomínio de gramíneas exóticas destinadas ao pastoreio.



Ponto	Coordenadas		Margem	Des gaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
10	758.749	7.769.936	Esquerda	60	Sim	Vegetação arbórea nativa, com gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Des gaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
11	762.750	7.769.193	Esquerda	50	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Des gaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
12	763.200	7.768.808	Esquerda	0	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
13	763.606	7.770.276	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbustiva com presença de indivíduos arbóreos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
14	763.603	7.773.506	Direita	20	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
15	770.665	7.772.743	Esquerda	150	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
16	770.616	7.774.645	Direita	57	Não	Vegetação herbácea, alguns pontos com solo exposto.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
17	755.603	7.771.135	Esquerda	80	Não	Gramíneas (<i>Brachiaria</i>), seguida de reflorestamento recente.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
18	761.826	7.772.876	Direita	120	Não	Gramíneas destinadas ao pastoreio.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
19	762.302	7.773.444	Direita	65	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
20	758.604	7.769.959	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
21	768.886	7.772.654	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
22	759.711	7.769.920	Esquerda	0	Sim	Espécies arbóreas nativas, reflorestamento estabelecido.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
23	761.338	7.770.092	Esquerda	140	Não	Agricultura, canavial, inclusive às margens do reservatório.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
24	765.374	7.771.169	Esquerda	80	Não	Gramíneas. Construção às margens do reservatório.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
25	768.080	7.772.728	Esquerda	80	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
26	768.608	7.774.732	Direita	90	Não	Predominância de gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
27	766.682	7.774.432	Direita	127	Não	Gramíneas, desmoronamento e perda de solo recentes.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
28	765.503	7.774.004	Direita	120	Não	Gramíneas, desmoronamento e perda de solo recentes.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
29	762.371	7.773.532	Direita	0	Sim	Área com predominância de vegetação arbórea nativa.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
30	756.966	7.774.663	Direita	0	Sim	Vegetação arbórea nativa. Presença de gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
31	762.750	7.769.193	Esquerda	0	Indefinida	Gramíneas, presença abundante de remanescentes arbóreos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
32	761.711	7.772.705	Direita	122	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
33	761.514	7.772.383	Direita	90	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
34	761.020	7.772.185	Direita	50	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
35	760.426	7.772.051	Direita	74	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
36	760.051	7.771.836	Direita	89	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
37	769.344	7.775.520	Direita	20	Sim	Faixa estreita de vegetação arbórea seguida de agricultura.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
38	769.022	7.775.498	Direita	35	Não	Faixa estreita com indivíduos arbustivo-arbóreos e gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
39	759.567	7.771.863	Direita	80	Não	Gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
40	758.772	7.772.183	Direita	75	Não	Gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
41	758.174	7.772.615	Direita	61	Não	Gramíneas e outras espécies vegetais de porte herbáceo.



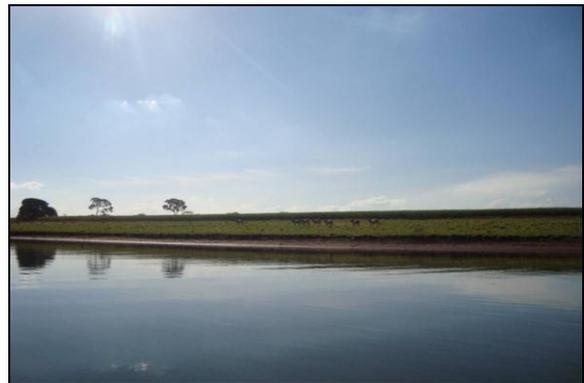
Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
42	762.026	7.773.188	Direita	45	Sim	Vegetação arbórea nativa com gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
43	765.838	7.774.684	Direita	0	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
44	765.569	7.774.511	Direita	70	Não	Gramíneas, remanescentes arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
45	758.183	7.774.999	Direita	10	Sim	Vegetação arbórea pioneira. Apresenta gramíneas exóticas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
46	757.916	7.775.032	Direita	41	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
47	758.427	7.774.326	Direita	10	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
48	758.602	7.774.418	Direita	20	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
49	754.487	7.773.336	Direita	75	Não	Cultivo de cana. Indivíduos arbóreos escassos e dispersos.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
50	757.834	7.773.773	Direita	23	Não	Vegetação herbácea, principalmente gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
51	757.305	7.770.891	Esquerda	50	Não	Predominância de canavial.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
52	757.882	7.770.471	Esquerda	94	Não	Predominância de canavial.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
53	758.288	7.774.191	Direita	30	Indefinida	Vegetação arbórea, pastagem e erosão por acesso de gado.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
54	756.370	7.771.036	Esquerda	50	Não	Predominância de vegetação herbácea, seguido de canavial.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
55	757.070	7.771.048	Esquerda	90	Não	Colônia (<i>Panicum maximum</i>) e reflorestamento recente.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
56	758.102	7.770.272	Esquerda	90	Não	Gramíneas. Presença de indivíduos arbóreos escassos



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
57	761.687	7.770.042	Esquerda	200	Não	Predomínio de canavial.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
58	762.375	7.769.889	Esquerda	170	Não	Predomínio de canavial.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
59	764.111	7.770.733	Esquerda	0	Sim	Reflorestamento esp. nativas antigo faixa 40 m e gramíneas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
60	764.624	7.770.936	Esquerda	0	Sim	Vegetação arbórea e reflorestamento (faixa 40 metros).



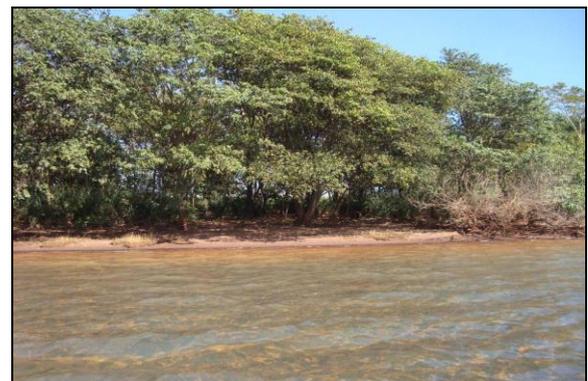
Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
61	766.539	7.771.768	Esquerda	65	Não	Faixa de vegetação arbórea estreita e cultivo de milho.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
62	767.489	7.774.447	Direita	40	Não	Predomínio de gramíneas destinadas ao pastoreio.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
63	758.185	7.770.158	Esquerda	40	Sim	Vegetação arbórea, reflorestamento estável, espécies nativas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
64	760.653	7.769.907	Esquerda	40	Sim	Vegetação arbórea, reflorestamento estável, espécies nativas.



Ponto	Coordenadas		Margem	Desgaste (cm)	Proteção Ciliar	Caracterização
	Este	Norte				
65	770.972	7.772.614	Esquerda	0	Sim	Predomínio de vegetação arbórea nativa.

