



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA-09  
19 a 24 Outubro de 2003  
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XI  
GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL  
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, COM ÊNFASE PARA AS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE UHE'S**

**Sílvia Helena M. Pires\***  
CEPEL

**Fábio Bonatto**  
COPPETEC-UFRJ

**Alexandre M. Medeiros**  
CEPEL  
**Elisabete Rocha**  
Consultora, RJ

**Daniella F. Soares**  
FPLF-PUC/RJ

**Paulo Cezar P. Menezes**  
COPPETEC-UFRJ

**RESUMO**

Este trabalho apresenta um conjunto de procedimentos e de indicadores socioambientais para subsidiar a análise de processos de degradação em bacias hidrográficas com conseqüências na redução da eficiência e da vida útil de usinas hidrelétricas. A metodologia proposta inclui a definição de medidas de recuperação ambiental para as áreas de influência destas usinas. São apresentados, ainda, os resultados da aplicação desta metodologia ao caso-teste realizado na bacia de contribuição da UHE Macabu (CERJ), localizada no Estado do Rio de Janeiro.

**PALAVRAS-CHAVE**

Avaliação ambiental; impactos sobre eficiência e vida útil de UHE's; recuperação ambiental, bacia hidrográfica.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As complexas interações existentes entre a água e os fatores geobiofísicos e socioeconômicos dentro dos limites de uma bacia hidrográfica, tornam esta unidade geográfica ideal para o planejamento e gestão dos recursos naturais e de muitas atividades antrópicas.

Analisando os processos que ocorrem dentro dos limites da bacia, constata-se que as atividades nela realizadas, ao mesmo tempo em que podem causar impactos, são também passíveis de serem afetadas pelos problemas que aí ocorrem. Esta situação pode ser verificada para as usinas hidroelétricas, cujas ações de implantação e operação trazem interferências significativas para uma determinada bacia, mas que, por outro lado, podem ter sua eficiência e vida útil afetadas pela degradação ambiental nessa área.

Como exemplo, observa-se que o progressivo aumento do uso da água para diversos fins a montante de uma usina, com destaque para as atividades agropastoris e demais atividades econômicas, associado muitas vezes a aspectos climáticos (déficit de chuvas) e a processos de supressão da cobertura vegetal, erosão dos solos e assoreamento dos mananciais, acabam por contribuir significativamente para a degradação ambiental da bacia, com a conseqüente redução do volume de água que movimenta as turbinas e interferindo no pleno funcionamento da usina.

Através da metodologia proposta neste trabalho, são analisados os diferentes condicionantes físico-bióticos e socioeconômicos que podem contribuir para o desequilíbrio das interações entre os componentes do ecossistema, sendo, portanto, potenciais causadores de interferências na vida útil e na eficiência de empreendimentos em operação, implantados, na maioria das vezes, anteriormente ao arcabouço ambiental técnico-científico e às exigências legislativas atuais. As análises sugeridas levam à definição de medidas de recuperação e mitigadoras dos possíveis impactos verificados dentro da bacia hidrográfica de contribuição direta ao reservatório, bem como aqueles localizados à jusante da barragem, relacionados ao decréscimo da vazão original.

Este trabalho foi desenvolvido pelo CEPEL para a Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro – CERJ, como parte do Programa Anual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, ciclo 2000/2001, aprovado pela ANEEL.

## 2.0 - ESTRUTURA DA METODOLOGIA

A estrutura metodológica geral proposta para este trabalho encontra-se dividida em duas grandes fases: - a primeira referente ao diagnóstico de situações existentes ou de possível ocorrência; e a segunda relativa aos procedimentos de prognose, nos quais são feitas previsões e sugeridas provisões quanto aos problemas ambientais em estudo. Esta estrutura pode ser sumarizada conforme o esquema apresentado na Figura 1.

A metodologia utiliza o Geoprocessamento e o Sistema de Informações Geográficas – SIG como ferramentas de suporte às análises dos diversos componentes ambientais, tanto do ponto de vista espacial, quanto temporal. Fundamenta-se ainda, nos instrumentos e procedimentos da avaliação de impactos ambientais, nos pressupostos da gestão integrada dos recursos hídricos e nos métodos de apoio à tomada de decisão.

A análise dos condicionantes físico-bióticos integra a proposta metodológica como subsídio para a construção, na etapa de diagnóstico ambiental, do plano de informação sobre o Uso da Terra e Cobertura Vegetal da bacia hidrográfica, além de fornecer indicadores relacionados à sustentabilidade ambiental da área de estudo e subsidiar a definição de medidas de intervenção ambiental e proposição de ações mitigadoras dos impactos verificados.

Por outro lado, os aspectos socioeconômicos configuram-se como mais dinâmicos por retratarem as ações antrópicas, seja através da ocupação urbana/industrial, seja através da ocupação rural ao longo do tempo, tendo rebatimentos diretos e significativos sobre o uso da terra na área estudada.

Para o modelo em questão, as etapas de diagnóstico e de prognóstico foram estruturadas de modo a destacar os processos mais relevantes para a análise das interferências sobre a vida útil e eficiência de uma usina hidroelétrica em determinada bacia, quais sejam:

- Alterações de vazão, em virtude de fatores naturais;
- Alterações de vazão, a partir de fatores antrópicos;
- Alteração de qualidade da água, tanto dos mananciais, quanto do reservatório;
- Alteração nos padrões de uso da terra e cobertura vegetal, através de análises espaço-temporais e identificação de conflitos entre o uso da terra e a exigência legal de Áreas de Proteção Permanente;
- Nível de erosão e perda de solo, estabelecendo áreas com diferentes potenciais de perda de solo e de fornecimento de sedimentos como contribuição negativa ao assoreamento do reservatório e redução da vida útil da UHE.

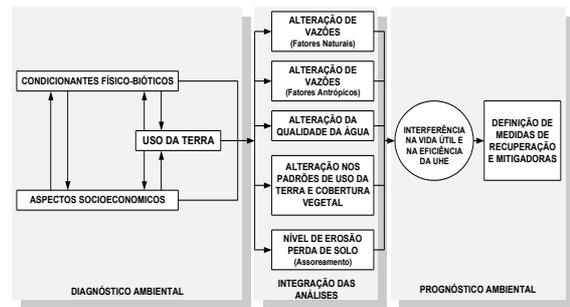


FIGURA 1- Síntese da estrutura metodológica

O diagnóstico ambiental visa identificar os principais problemas, nível de degradação existente e a interação entre os diversos componentes do sistema em análise. Dentre os componentes físico-bióticos, o clima, a geologia e a geomorfologia se apresentam como fatores menos dinâmicos que servem de base para a análise dos demais processos; hidrologia, solos e cobertura vegetal, por sua vez, são fatores que necessitam ser avaliados, no tempo e no espaço, integradamente com as questões relativas ao uso e ocupação do solo (agricultura; pecuária; silvicultura; mineração; aglomerados urbanos e rurais; áreas especiais e áreas degradadas), considerando os demais condicionantes socioeconômicos.

A etapa de prognóstico ambiental envolve a identificação e a avaliação das condições de degradação da bacia hidrográfica em estudo, que se apresentam como mais relevantes do ponto de vista da operação da usina. Engloba, nesse sentido: a definição das áreas prioritárias para a intervenção ambiental (medidas de proteção ou recuperação); e a definição de ações e critérios para a implementação destas intervenções. São definidos grupos de ações, critérios para orientar a empresa na priorização para implantação dessas ações, bem como são apontados agentes locais e regionais que podem participar deste processo, sendo indicada, ainda, as formas de atuação e parcerias possíveis.

### 3.0 - CASO-TESTE

Selecionou-se como área de estudo a bacia de contribuição ao reservatório da UHE Macabu (21 MW) da CERJ, localizada no Rio Macabu, no município de Trajano de Moraes, no Estado do Rio de Janeiro.

O diagnóstico ambiental abrangeu a análise das características de ocupação da bacia e dos aspectos socioeconômicos e de seus condicionantes físico-bióticos, permitindo identificar dentre os processos identificados, aqueles que se destacam como mais relevantes para a área de estudo.

#### 3.1 Alterações de Vazão por Fatores Naturais

A análise da série histórica das vazões afluentes ao reservatório da UHE Macabu permitiu observar uma sensível tendência de queda nas vazões médias do

rio Macabu, a montante da barragem. A vazão média registrada no período 1931 a 1999 é de 4,1 m<sup>3</sup>/s, sendo que a partir de 1986, a série registrou 13 anos abaixo da média e somente 1 ano acima da média (4,3 m<sup>3</sup>/s em 1994). Com a finalidade de observar o comportamento das vazões em função da quantidade de chuva na região da bacia, foram cruzados os valores das precipitações médias anuais (mm/dia) disponíveis, obtidos nas estações localizadas nas proximidades da bacia, com a série histórica de vazões hidrológicas, conforme evidenciado na Figura 2.

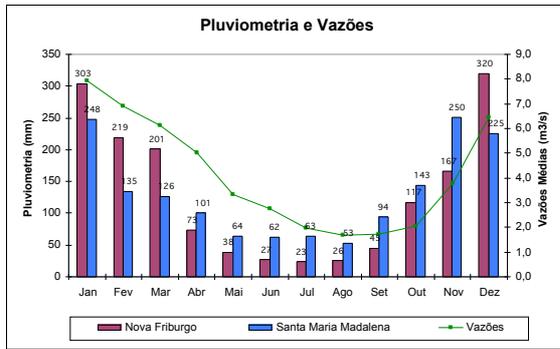


FIGURA 2 – Precipitações médias anuais e série histórica de vazões

### 3.2 Alterações de Vazão por Fatores Antrópicos

Na área estudada foram identificados como principais usos consuntivos da água: o consumo humano, a dessedentação de animais, a irrigação e a produção de energia elétrica (em virtude da transposição para outra bacia). A água retirada para irrigação variou entre 1,31% da vazão média afluente da série histórica de vazão no período de 1931 a 1999, atingindo 2,63% da vazão média nos meses mais secos.

Os valores para as duas situações não são muito significativos e, tendo em vista a tendência de esvaziamento populacional constatada para a região, o uso da água para abastecimento humano não se configura como problema relevante na área de estudo.

### 3.3 Alteração da Qualidade da Água

As informações mais importantes são aquelas relativas à aplicação de insumos na agricultura e a geração de efluentes sólidos, líquidos, orgânicos e químicos, a partir de concentrações urbanas, atividades industriais e exploração mineral. A localização das principais fontes geradoras desses efluentes e uma quantificação desses resíduos são os principais indicadores a serem considerados nessa análise. São também importantes os registros sobre a qualidade da água, obtidos junto às estações de monitoramento contínuo para a área de estudo.

No caso-teste, entretanto, não foi possível realizar nenhuma análise de qualidade de água devido à

total inexistência de dados para a bacia em questão. Observa-se, entretanto, a inexistência de atividades industriais e de exploração mineral na região.

### 3.4 Alteração nos Padrões de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

A análise temporal da evolução espacial da cobertura vegetal, parte do confronto entre o Mapa Fitofisionômico obtido através da classificação da imagem de satélite LANDSAT TM5 (1986), e o Mapa Fitofisionômico atual, resultante da classificação da imagem LANDSAT TM7 (2001), conforme observado na Tabela 1.

TABELA 1 – Evolução comparativa do Uso da Terra e Cobertura Vegetal

Uso da Terra 1986	Uso da Terra 2001	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Mata	Mata	28,66	61,99
	Solo Nu	0,06	0,13
	Urbano	0,11	0,24
	Pasto	3,45	7,46
	Veg. Secundária	13,95	30,18
Pasto	Mata	7,9	25,52
	Solo Nu	0,08	0,26
	Urbano	0,21	0,68
	Pasto	7,05	22,77
	Veg. Secundária	15,72	50,78
Vegetação Secundária	Mata	25,54	45,13
	Solo Nu	0,04	0,07
	Urbano	0,18	0,32
	Pasto	7,28	12,86
	Veg. Secundária	23,55	41,62

A análise comparativa dos conflitos entre o Uso da Terra e as Áreas de Preservação Permanente consistiu na verificação entre o uso praticado nos dois períodos e aquele praticado sobre áreas que deveriam estar sendo protegidas, conforme o exigido pela legislação de proteção ambiental, conforme sumarizada através do gráfico da Figura 3.

Como nível de conflito intermediário, foram consideradas as áreas de Vegetação Secundária, pois se tratam de áreas alteradas, porém em atual processo de regeneração natural. Estas áreas podem retratar uma efetiva condição de recuperação ambiental, como também podem consistir apenas em áreas de pousio (descanso) para a ocupação agrícola futura.

Através do exposto no gráfico da Figura 3, fica evidente uma melhora significativa em termos de preservação das áreas que deveriam ser protegidas, com uma redução das áreas sob conflito efetivo e uma diminuição das áreas de conflito intermediário.

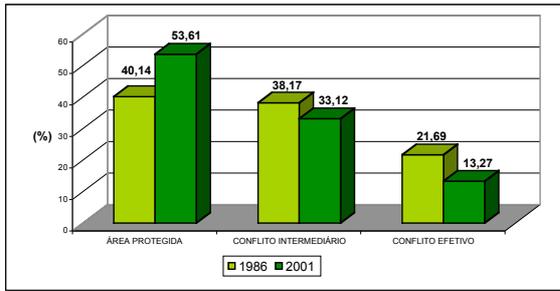


FIGURA 3 – Comparação dos conflitos entre Uso da Terra e Áreas de Proteção Permanente.

As áreas de proteção de nascentes, consideradas como uma das categorias de proteção mais importantes, tendo em vista a preservação da qualidade e quantidade de água, foram confrontadas com o uso atual da bacia. Para o caso-teste foram obtidos os valores, em termos de áreas protegidas, apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Percentuais de áreas protegidas

PROTEÇÃO DE NASCENTES	
MATA	44,37%
VEG. 2a.	31,2%

Com esses procedimentos foi possível obter uma quantificação dos conflitos de uso da terra em áreas de proteção de nascentes. Na bacia em estudo, os conflitos efetivos de uso da terra em áreas de proteção de nascentes foram da ordem de 25%, evidenciando um quadro que exige uma maior atenção para a reordenação dos usos praticados nestas áreas.

### 3.5 Nível de erosão e perda de solo

A avaliação dos níveis de assoreamento poderia ser realizada através de sondagens para a verificação da diminuição da profundidade ao longo das diversas seções do reservatório. Entretanto, neste trabalho o enfoque é investigar as causas do fenômeno, principalmente em função das questões ambientais e interferências antrópicas envolvidas, bem como localizar aquelas áreas com maior susceptibilidade à erosão e que deveriam ser objeto de alguma medida de recuperação ou proteção.

Para a identificação destas áreas com maior potencial erosivo, optou-se por aplicar uma modelagem, com base na Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) associada à tecnologia de geoprocessamento. A EUPS fornece uma estimativa das perdas anuais médias de solo em função de parâmetros específicos do local a ser estudado, tais como: pluviosidade, declividade, tipo de solo, uso do solo e práticas conservacionistas adotadas em cultivos agrícolas. Assim, vários aspectos estudados durante a elaboração do diagnóstico ambiental podem ser integrados de modo sistemático, permitindo que sejam identificadas as áreas mais susceptíveis à

ocorrência de processos erosivos. A EUPS é definida por:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Onde:

A = perda de solo (t / ha.ano);

R = fator de erosividade da chuva (MJ.mm / ha.h.ano);

K = fator de erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm);

LS = fator comprimento e grau do declive (adimensional);

C = fator uso e manejo do solo (adimensional);

P = fator prática conservacionista (adimensional).

A sistematização dos dados para obtenção dos fatores para a aplicação da EUPS deve ser realizada conforme o esquema apresentado na Figura 4, de modo a construir o mapa de potencial erosivo para a área de estudo.

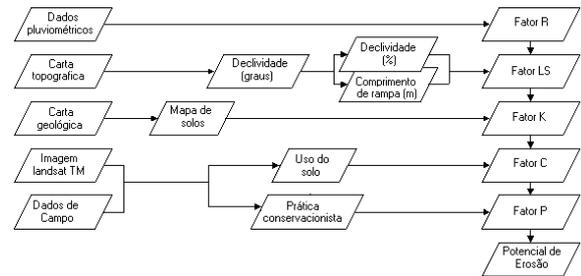


FIGURA 4 – Esquema para mapeamento do potencial de erosão da bacia

A Figura 5 apresenta um recorte do mapa resultante do caso-teste, onde se encontram classificadas as áreas conforme seu potencial de perda de solo.

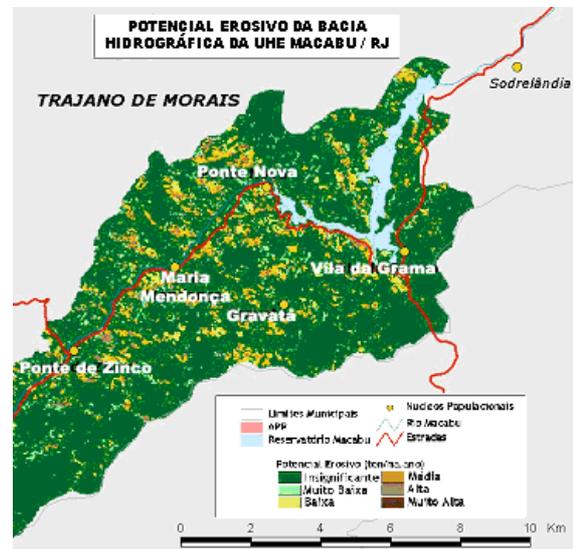


FIGURA 5 – Potencial de perda de solos

A modelagem sugerida levou a uma boa estimativa da existência e localização dos processos erosivos significativos na área de estudo. Tais resultados foram confirmados através de campanhas de campo para verificação "in loco". No caso de existirem fotografias aéreas atualizadas para a região, estas poderão ser utilizadas para uma melhor aferição e monitoramento dos resultados.

#### 4.0 DEFINIÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA INTERVENÇÃO AMBIENTAL (MEDIDAS DE PROTEÇÃO OU RECUPERAÇÃO)

A determinação das áreas de maior importância para o direcionamento de ações de intervenção ambiental, que contribuam para minimização dos processos de degradação ambiental mais significativos observados na área de estudo, foi orientada por dois critérios:

□ *Maximizar o nível de proteção às áreas com restrição de uso, caracterizadas pela existência de processos de degradação mais intensos ou, em particular, aquelas caracterizadas como Áreas de Proteção Permanente;*

□ *Minimizar o nível de interferência das intervenções propostas com o uso da terra praticado na bacia (áreas com incongruências de uso), visando reduzir o potencial de conflitos pelo uso.*

Como primeiro passo foi realizada uma análise integradora, considerando os diversos níveis de confrontos existentes entre as áreas consideradas de uso restrito pela legislação, áreas com potencial erosivo e os usos da terra identificados na área, ou seja, entre as categorias de Uso da Terra e Cobertura Vegetal e as Áreas de Proteção Permanente, bem como com as Áreas com Potencial de Perda de Solos.

Utilizando um esquema de classificação em bases booleanas, foram realizadas as combinações entre o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal e o mapa de Potencial de Perda de Solos. Em seguida, este resultado foi cruzado com o mapa de Áreas de Proteção Permanente, sendo também identificadas as classes de Uso da Terra situadas em áreas de nascentes que devem ser necessariamente protegidas.

Para atender aos objetivos deste estudo, considera-se que áreas sob risco de erosão (EUPS), localizadas em Áreas de Preservação Permanente (APP), e em especial aquelas situadas em áreas de proteção de nascentes (APP+nascentes), representam a combinação de fatores restritivos mais grave. Esta situação, aliada ao uso da terra verificado em tais áreas, determina áreas que necessitam de uma intervenção imediata e para as quais deverão ser definidas medidas de recuperação mais eficientes para atenuar os efeitos que esta combinação indesejável possa estar exercendo sobre o fenômeno de redução de vazões.

Em contraposição, as áreas que não apresentam risco de erosão, nem se situam em Áreas de Preservação Permanente, nem tampouco em áreas de nascentes, seriam aquelas indicadas para ocupação sem maiores restrições. De uma forma esquemática, estes cruzamentos podem ser evidenciados na Figura 6. Por outro lado, as áreas que se encontram com cobertura florestal remanescente deveriam ser objeto de atenção especial, por serem aquelas mais propícias para a implantação de ações de proteção e também

deveriam ser contempladas por políticas de ordenamento do uso do solo na bacia.

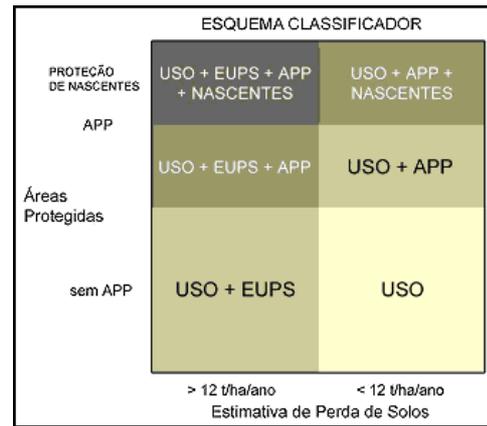


FIGURA 6 – Esquema classificador para análise das áreas prioritárias de intervenção ambiental

Para a priorização das áreas para intervenção, é necessário estabelecer uma hierarquia entre as categorias de uso da terra. Sugere-se, que sejam conferidos valores para cada categoria, de maneira ordenada e crescente, a partir da definição de dois grupos distintos:

- um grupo destinado à Proteção (áreas sem intervenção antrópica, p.ex., mata, afloramentos rochosos e sombra), onde todas estas categorias de uso podem receber o mesmo valor por estarem no mesmo nível hierárquico (no caso-teste adotou-se o valor 0,1 para essas categorias)
- outro destinado à Recuperação Ambiental (tais como: pasto, solo nu, solo urbano e vegetação secundária) onde os valores atribuídos às categorias devem considerar a minimização de conflito com os usos praticados na bacia. Assim, quanto menor for o potencial de conflito, maior o valor atribuído, ou seja, maior a prioridade para a implantação de intervenções visando a recuperação ambiental da área. [para o caso-teste a vegetação secundária recebeu valor (2), as áreas de solo urbano (3), áreas de solo exposto (4) e áreas de pasto (5)].

O mapa resultante da combinação desses fatores obtido pela superposição dos planos de informação é apresentado na Figura 7, com a indicação das Áreas Prioritárias de Intervenção Ambiental. Observa-se que a maior ocorrência de áreas prioritárias para recuperação para a área estudada situa-se na região próxima à localidade de Ponte de Zinco, estando muitas destas áreas localizadas no entorno do reservatório da UHE Macabu.

#### 5.0 AÇÕES E CRITÉRIOS PARA A INTERVENÇÃO AMBIENTAL

A partir das características da área em estudo e das possíveis situações de conflito em torno do uso da

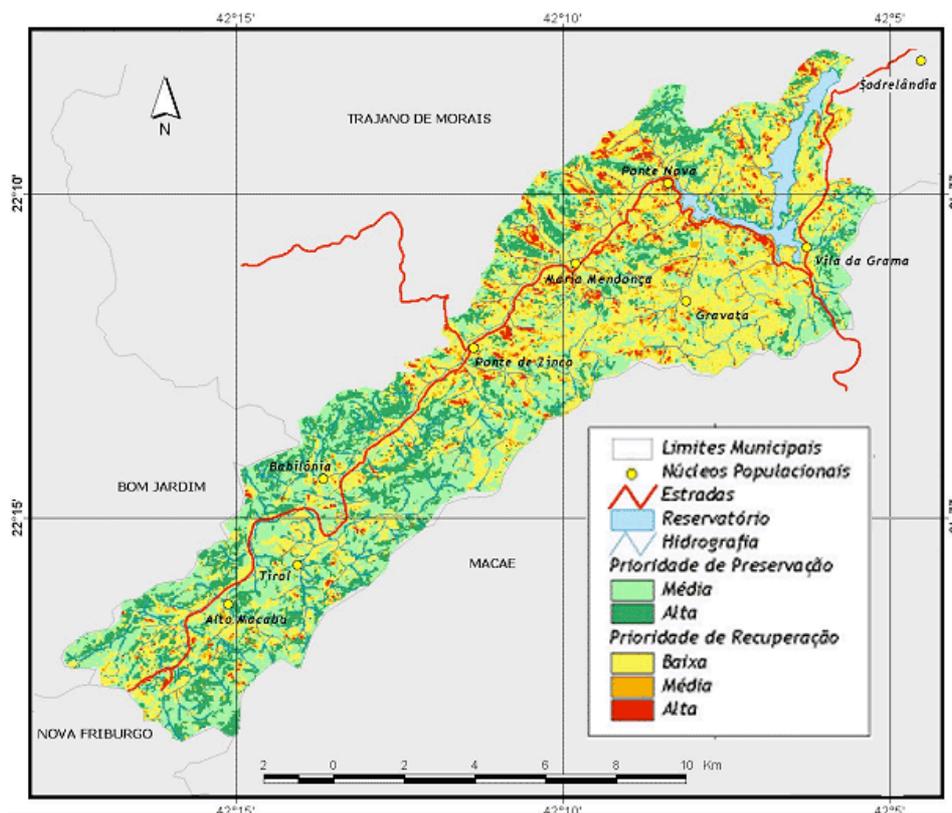


FIGURA 7 – Mapa das Áreas Prioritárias para Intervenção Ambiental

terra e do uso da água, foram sugeridas as articulações que poderão ser estabelecidas pela empresa, para que as medidas de recuperação e proteção ambiental tenham efeito não só sobre o aumento da vida útil do reservatório, mas também sobre a qualidade de vida da população da região. Assim, o conjunto de ações sugeridas contempla ações além daquelas a serem conduzidas pela empresa como única responsável.

A título de exemplo, para o caso-teste foi sugerida a articulação entre a CERJ, a Prefeitura de Trajano de Moraes, a EMATER-Rio, Instituto Estadual de Florestas – IEF, Programa Mutirão de Reflorestamento Rural, a Superintendência de Microbacias Hidrográficas, as ONG's com atuação local e os Comitês de Bacias do Rio Macabu e do Rio Macaé. Por outro lado, em virtude da exigência legal para o estabelecimento das Áreas de Reserva Legal nas propriedades, uma articulação mais aproximada com os proprietários, pode vir a resultar em ganho ambiental significativo para a região.

O conjunto de ações sugerido poderá servir de base para discussões em torno de um Programa de Desenvolvimento Sustentável para a região em estudo, servindo ainda de apoio para a participação da empresa, quando for o caso, no Comitê de Bacias. Sugerem-se ações da seguinte natureza:

- Ações de recuperação;
- Ações de preservação;
- Ações de monitoramento e coleta de dados;
- Ações educativas;
- Ações de infra-estrutura.

No que se refere à sua atuação direta, a empresa de energia elétrica poderá utilizar os seguintes critérios para priorizar as ações:

- Ações necessárias ao atendimento a requisitos legais que por ventura não estejam sendo cumpridos pela empresa ou nas áreas de propriedade da empresa;
- Ações que terão efeitos mais diretos sobre a melhoria do desempenho da usina;
- Ações para promover a imagem da empresa na região.

#### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEPEL, 2002. Metodologia para a Definição e Priorização de Medidas de Recuperação Ambiental de Bacias Hidrográficas, com ênfase para as áreas de influência de UHE's - Relatório Técnico DPP/PER - 617/2002.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de registrar os agradecimentos aos engenheiros Jorge R. de Carvalho, Celso V. Akil, Gilberto Suhett, David Targuetta e Geraldo Mendonça Júnior, da equipe da CERJ, que acompanharam o desenvolvimento da metodologia e do caso-teste, dando o apoio logístico necessário e participando das discussões técnicas realizadas ao longo dos estudos.