

ASPECTOS LIMNOLÓGICOS DO RESERVATÓRIO DE BAKUN (MALÁSIA)

OCTA Consultoria e Planejamento

São Paulo

APRESENTAÇÃO

Este sexto fascículo da série OCTA foi preparado a partir da avaliação da importância da questão da qualidade da água do reservatório de Bakun, na Malásia, cuja análise ambiental foi objeto do fascículo nº 5 da série, onde se apontam os aspectos mais relevantes daquele empreendimento hidroelétrico.

Tendo em vista as proporções do reservatório, cerca de 725 km² de área de inundação, o estudo realizado aponta para diversos problemas extremamente complexos e de variada magnitude, para os quais indicam-se soluções diferenciadas, na forma de normas e procedimentos a incorporar ao planejamento e execução das obras, realização de planos, programas e projetos, e sua implementação a partir dos estágios iniciais da construção.

Foram efetuadas simulações de enchimento e operação do reservatório, com base nos dados disponíveis nos estudos anteriores, e com base nas características hidráulicas dos seus órgãos extravasores, de acordo com os projetos existentes.

Como já fora comentado no fascículo nº 5, a análise da questão da qualidade da água sugere, diferentemente do proposto pelo SAMA Consortium, que a mesma implicará em desmatamento da área do reservatório em percentuais sensivelmente menores, todavia ainda por serem determinados. Isto indica que as questões limnológicas, extremamente complexas no presente caso, onde se afogará uma vasta porção da floresta equatorial pluvial da ilha de Bornéu, irão requerer complexos estudos teóricos e práticos para determinação das melhores formas de limpeza prévia da bacia de inundação, tendo em vista que as alterações da qualidade da água do rio Balui a jusante de Bakun terão repercussões certamente importantes, mas de magnitude ainda por determinar.

O estudo aqui relatado integrou trabalho realizado pela OCTA para uma empreiteira brasileira em julho/agosto de 1991, e contou com a colaboração de consultores especialistas. A sua apresentação neste fascículo objetiva demonstrar métodos de estudo práticos e objetivos, realizados apenas com dados secundários e em gabinete, mas que permitiram a obtenção de importantes conclusões.

São Paulo, novembro de 1991.

Sylvio Lopes da Rosa.

**OCTA Consultoria e Planejamento S/C Ltda.
Rua Humberto I, 598, 8º, cj. 82A
Vila Mariana
04018-031 São Paulo, SP
Fone/FAX: (011)570-6462**

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERÍSTICAS PREVISÍVEIS PARA O RESERVATÓRIO DA UHE BAKUN.....	2
3. DESMATAMENTO.....	6
4. ÉPOCAS DE ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO.....	7
5. HIPÓTESES DE LIMPEZA DO RESERVATÓRIO	10
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	12
7. ASPECTOS BIOLÓGICOS ESPECÍFICOS ASSOCIADOS AO RESERVATÓRIO	13
7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
7.2. EFEITOS SOBRE A VEGETAÇÃO.....	14
7.2.1 Trabalhos de desmatamento.....	14
7.2.2 Realização e/ou aprofundamento de inventários florísticos e florestais.....	14
7.3. EFEITOS SOBRE A FAUNA	15
7.3.1 Considerações gerais	15
7.3.2 Procedimentos gerais.....	15
7.3.3 Inventários faunísticos	15
7.4 ASPECTOS DA ICTIOFAUNA.....	15

Figuras

Figura 1: Variação do teor de oxigênio dissolvido durante o enchimento.....	5
Figura 2": Evolução da demanda bioquímica de oxigênio durante o enchimento.	5
Figura 3: Evolução da demanda bioquímica de oxigênio durante o enchimento.	6
Figura 4: Variação do teor de fósforo durante o enchimento.	6
Figura 5: Condições de vazões afluentes ao reservatório de Bakun (médias).	8
Figura 6: Variações quanto ao mes de enchimento.	8
Figura 7: Variação da DBO máxima de acordo com o mes de início de enchimento.	9
Figura 8: Variação do nitrogênio máximo de acordo com o mes de início de enchimento.	9
Figura 9: Variação do fósforo máximo de acordo com o mes de de início de enchimento.	9
Figura 10: Períodos de anaerobiose e oxigênio dissolvido menor que 4 mg/l, em função do grau de desmatamento.	11
Figura 11: Valores máximos de DBO e nitrogênio em função do grau de desmatamento.	11
Figura 12: Valores máximos de fósforo em função do grau de desmatamento.	11

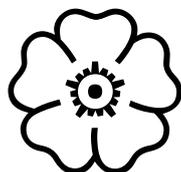
Quadros

Quadro 1: UHE BAKUN - Variação do período de enchimento e dos parâmetros de qualidade da água em relação à variação da vazão média mensal.	7
Quadro 2: UHE BAKUN - Simulação das alternativas de desmatamento.	10

SÉRIE FASCÍCULOS OCTA

Números publicados:

1. A análise ambiental nos processos decisórios como metodologia de planejamento.
2. Plano de manejo ambiental do Estado do Tocantins.
3. A questão do lixo no planejamento da nova capital do Estado do Tocantins.
4. Estado do Tocantins: aportes para o desenvolvimento harmônico e auto sustentado.
5. Análise ambiental do Projeto Hidroelétrico Bakun (Malásia).
6. Aspectos limnológicos do reservatório de Bakun (Malásia).



ASPECTOS LIMNOLÓGICOS DO RESERVATÓRIO DE BAKUN (MALÁSIA)

por: OCTA Consultoria e Planejamento S/C Ltda.

Equipe:

Adalberto José Monteiro Jr.	Limnólogo
Cesar Augusto Oller do Nascimento	Sociólogo/Cientista Político
Irineu Bianchini	Limnólogo
Raul de Carvalho	Economista
Samuel Ribeiro Giordano	Engenheiro Agrônomo
Sylvio Lopes da Rosa	Engenheiro Civil (Coordenação)
Zilmar Cardoso	Engenheiro Agrônomo

1. INTRODUÇÃO

A experiência anterior com a implantação de reservatórios em regiões com densa cobertura vegetal indica que o afogamento da vegetação causa profundas alterações na qualidade da água, promovendo, inclusive, condições de anaerobiose e eutrofização acelerada. Essa situação pode comprometer, por um longo período, não só o próprio ecossistema aquático e os usos da água, como também os equipamentos das unidades geradoras de energia. Tais fenômenos envolvem uma série de processos físicos, químicos e biológicos, sendo que alguns deles são pouco conhecidos.

No caso específico do reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) Bakun, a análise das informações obtidas em outros empreendimentos semelhantes fornece uma visão geral sobre as conseqüências ambientais da formação do reservatório, porém tais dados não são suficientes para uma caracterização precisa dos impactos na qualidade da água.

Dentro desse contexto, a modelagem matemática tem se constituído numa importante ferramenta para a compreensão dos ecossistemas aquáticos e, principalmente, na elaboração de prognósticos sobre o comportamento desses sistemas. No caso das alterações decorrentes da formação de reservatórios, essa capacidade de previsão, em termos quantitativos, adquire uma importância fundamental, na medida em que se pode simular, também, os efeitos decorrentes das medidas mitigadoras que possam atenuar ou evitar impactos, e dessa forma fornecer subsídios para a tomada de decisões.

Para a execução dos estudos de avaliação da qualidade da água do reservatório de Bakun, adotou-se a aplicação de um modelo matemático que simula as alterações da qualidade da água durante a formação do futuro lago.

Na formulação do modelo, assume-se o reservatório como sendo um reator de mistura completa. A partir dessa hipótese, baseando-se no princípio de conservação de massa, o sistema é regido por equações obtidas na integração analítica de processos cinéticos (de primeira ordem), representativos dos efeitos de transferência de carga orgânica e de nutrientes da vegetação afogada para a coluna d'água.

As equações utilizadas descrevem as variações temporais dos seguintes parâmetros, durante e após o enchimento do reservatório:

- demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da coluna d'água;
- nitrogênio total dissolvido (N);
- fosfato total dissolvido (P);
- oxigênio dissolvido (OD).

Para a operacionalização do modelo, são fornecidos os seguintes dados:

- características físicas do reservatório (relação entre cota, área e volume);
- vazões afluentes e efluentes do reservatório;
- densidade de vegetação;
- taxas das reações de degradação da fitomassa sob condições aeróbicas e anaeróbicas;
- concentrações e cargas de DBO, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo associadas as condições de rio.

Convém ressaltar, entretanto, que apesar de sua utilidade, o modelo matemático utilizado possui algumas limitações que podem reduzir a sua representatividade. Dentre elas, podem citar-se:

- O modelo foi desenvolvido para simular as variações de parâmetros de qualidade da água na fase de enchimento do reservatório, sendo que sua representatividade fica comprometida para a fase de operação. Por exemplo, o modelo *não* permite simular as variações de nível do reservatório após o enchimento, nem as trocas advectivas provenientes destas variações;
- Não prevê a morte gradual da fitomassa submersa, considerando que a morte é simultânea ao processo de incorporação (afogamento);
- Considera o sistema aquático como completamente misturado, não reconhecendo, portanto, que as camadas superficiais poderão apresentar água de melhor qualidade, nem prevê a estratificação vertical que pode ocorrer em alguns períodos do ano em lagos e reservatórios.

Contudo, o modelo utilizado fornece, inequivocamente, as tendências das características globais da qualidade da água do futuro reservatório.

Convém ressaltar ainda que, de modo geral, em todas simulações efetuadas, admitiu-se que:

1. A fitomassa referente aos fustes não deveria ser considerada, pois sua degradação só iria gerar uma demanda de oxigênio numa escala de tempo não compatível com a tratada pelos estudos de enchimento e, portanto, pelos modelos matemáticos em questão;
2. A quantidade de biomassa vegetal que deveria ser considerada nos "cartões de entrada" do modelo se refere ao somatório do carbono facilmente oxidável, proveniente das diferentes frações de fitomassa e serapilheira;
3. As taxas de dissolução e de consumo (sob condições aeróbicas e anaeróbicas) utilizadas pelos modelos resultam de uma contribuição proporcional de cada substrato (folhas, galhos, cascas e serapilheira) e suas respectivas taxas de reação.

2. CARACTERÍSTICAS PREVISÍVEIS PARA O RESERVATÓRIO DA UHE BAKUN

A qualidade da água em reservatórios depende de inúmeros processos, os quais estão relacionados com as características morfológicas do sistema, com os mecanismos de

circulação e estratificação térmica e química, com as relações entre as profundidades das zonas eufótica, afótica e máxima, com o tempo de residência da água e com as interações sedimento/água, que são também reguladas pelo grau de oxigênio da coluna d'água e pelo potencial de oxi-redução do sedimento.

O reservatório de Bakun, a ser construído no rio Balui, Distrito de Sarawak na ilha de Bornéu, Malásia, em região tropical com densas florestas pluviais, apresenta algumas características que, associadas à possibilidade de afogamento da floresta pluvial existente na área de inundação, poderão contribuir para alterar significativamente a qualidade da água do reservatório em relação às condições presentes nos rios atuais. Essas características são a morfometria do reservatório, o tempo de residência e sua profundidade média.

A morfometria dos reservatórios influencia a dinâmica dos processos na água e no sedimento, levando-se em conta os efeitos da ação do vento e dos mecanismos de circulação da água. Quanto mais recortado o reservatório, como é o caso de Bakun, com vários braços e ilhas, maior é a possibilidade de compartimentação em subsistemas com comportamentos diversos. Nessas situações, o tempo de residência da água nos braços é muito superior ao do corpo central, e a estratificação térmica e química, quando ocorre, é muito mais estável, mantendo condições de eutrofização e de anoxia por muito mais tempo, após o enchimento, que nas condições médias para o reservatório.

O tempo de residência da água é um parâmetro importante nos reservatórios, indicando condições para a ciclagem dos nutrientes e o desenvolvimento de plancton e macrófitas aquáticas. Quanto maior o tempo de residência, maiores as alterações na qualidade da água do reservatório em relação aos rios originais. No reservatório de Bakun, o tempo de residência médio é elevado (351 dias, devendo ser bem superior nos braços).

A elevada profundidade média esperada para o reservatório em estudo (aproximadamente 62 m), associada à sua morfometria recortada e ao elevado tempo de residência, indicam condições propícias ao desenvolvimento de estratificação térmica e química, principalmente no caso de afogamento da vegetação. Nessas condições, a recuperação da qualidade da água do reservatório, após o enchimento, seria mais lenta do que com a circulação total da massa d'água. O enchimento do reservatório de Bakun deverá provocar alterações no regime de escoamento do rio Balui e de seus afluentes no trecho afetado, diminuindo a velocidade de fluxo, as taxas de aeração superficial e, conseqüentemente, os teores de oxigênio dissolvido na massa líquida.

Ocorrerá ainda, a submersão de solos e da vegetação presente na área de inundação, o que consumirá oxigênio para a sua estabilização bioquímica, gerando uma demanda de oxigênio (DBO). Os teores deste gás poderão atingir níveis muito baixos, ou mesmo nulos (**anaerobiose**), comprometendo a manutenção das comunidades aquáticas. A presença de um ambiente redutor favorece, ainda, a formação de gases tóxicos e/ou mal cheirosos, a exemplo do gás sulfídrico e metano.

Outra conseqüência da decomposição da fitomassa inundada é a liberação de nutrientes, cuja presença em um dado corpo d'água em concentrações elevadas, associada a outros fatores como morfometria e tempo de residência, pode provocar a evolução da sua fertilidade a níveis eutróficos (alta produtividade primária). Dentre as conseqüências indesejáveis do processo de eutrofização citam-se:

interferência nos usos recreacionais;

- sedimentação da biomassa de algas, ocasionando uma demanda bentônica, que por sua vez, pode consumir grande parte do oxigênio dissolvido do hipolímnio, principalmente nos períodos de estratificação;
- crescimento excessivo de macrófitas aquáticas, interferindo na navegação, aeração e evaporação, além de servir de meio de desenvolvimento de parasitas e mosquitos;
- crescimento excessivo de fitoplâncton, que por sua vez, poderá excretar algumas substâncias tóxicas.

Para efeito de avaliação da qualidade da água do reservatório da UHE Bakun desde o início do enchimento, discutiram-se e analisaram-se várias simulações de evoluções de parâmetros (OD, DBO, P e N), considerando-se que o enchimento se dará **sem** a retirada da cobertura vegetal existente na área de inundação, tomado como cenário básico.

Os resultados da simulação indicam a ocorrência de anaerobiose por um período prolongado, ou seja, 237 dias - cerca de 8 meses, como mostra a Figura 1. Deve-se salientar que o tempo de anaerobiose simulado refere-se a um valor médio, *podendo ocorrer situações de maior criticidade em segmentos laterais do reservatório*, nos quais a circulação é menor, com maiores tempos de residência. Nesse sentido, convém ressaltar que o valor mínimo de oxigênio dissolvido tido como aceitável para a preservação da ictiofauna é de 4 mg/l.

Observa-se ainda que, caso não se proceda nenhuma ação de desmatamento, somente a partir de 14 meses após o início da operação de enchimento é que começarão a ocorrer concentrações superiores a 4 mg/l. De maneira geral, é de se esperar que neste período ocorram os seguintes fenômenos:

- estratificação vertical (térmica e química) com ausência de oxigênio no hipolímnio (camadas profundas do reservatório);
- aumento da cor e turbidez da água devido ao aparecimento de matéria orgânica dissolvida e microrganismos;
- elevação da condutividade elétrica e formação de gases tais como sulfídrico e metano;
- decaimento dos valores de pH em consequência da oxidação da fitomassa;
- aumento do poder de corrosão da água, possibilitando a ocorrência de avarias nos equipamentos eletromecânicos das unidades geradoras.

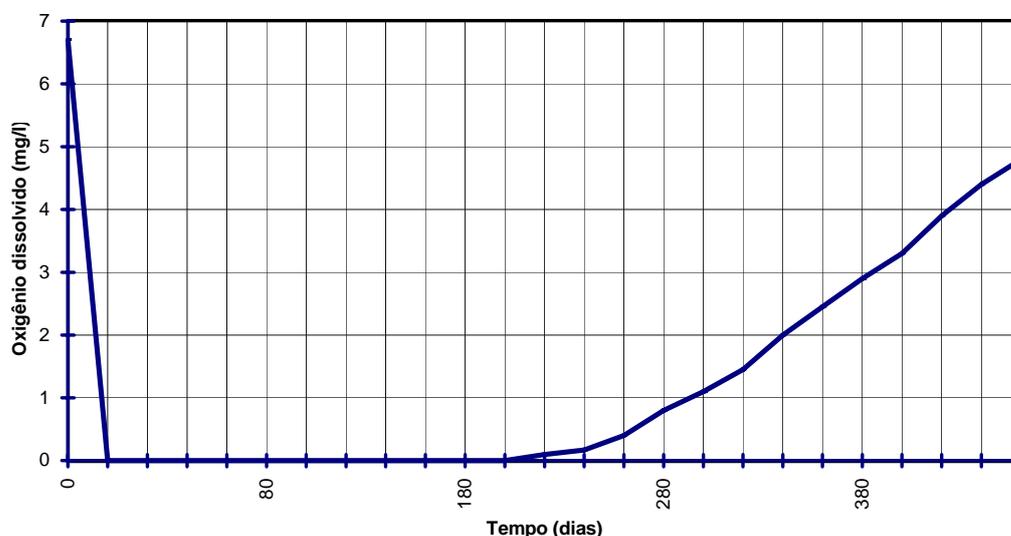


Figura A: Variação do teor de oxigênio dissolvido durante o enchimento

O afogamento da vegetação tem como consequência a elevação da demanda bioquímica de oxigênio, na medida em que esta fitomassa necessita de oxigênio para a sua decomposição e estabilização. A concentração máxima de DBO obtida na simulação efetuada foi de 28,0 mg/l, que pode ser considerada incompatível para a manutenção de condições favoráveis no corpo d'água, como mostrado na [Figura 2](#).

A *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos recomenda uma DBO máxima de 5 mg/l, que no caso de Bakun só deverá ser atingida 250 dias após o início do enchimento, de acordo com as simulações.

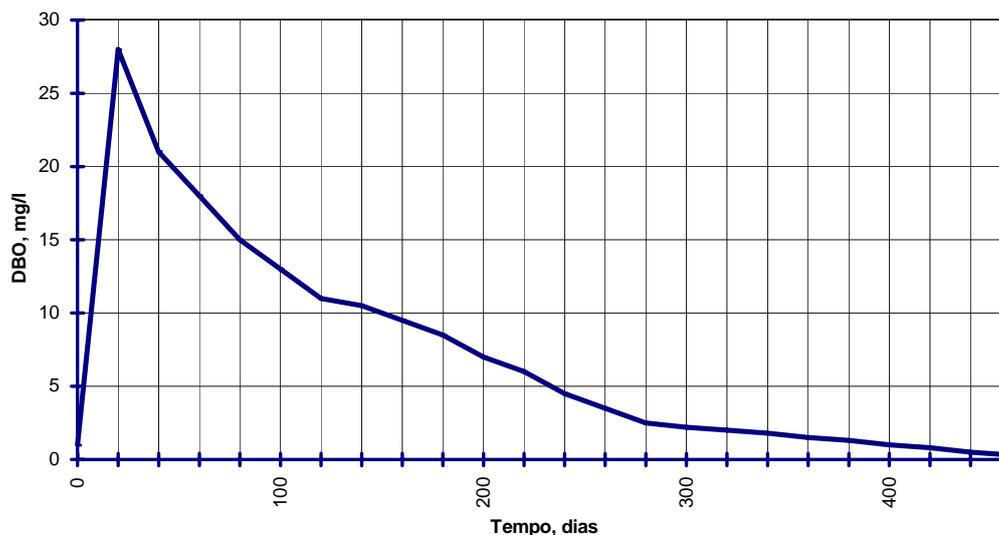


Figura B'': Evolução da demanda bioquímica de oxigênio durante o enchimento.

Com base na simulação realizada, observa-se que deverá ocorrer, ainda, um enriquecimento das águas por nutrientes, particularmente por nitrogênio e fósforo. Nesse sentido, as [Figuras 3 e 4](#) permitem visualizar as variações temporais dos teores de ortofosfato e nitrogênio total.

Estudos desenvolvidos no Brasil para lagos de regiões tropicais indicaram que concentrações médias de ortofosfato superiores a 0,14 mg/l permitem classificar limnologicamente o corpo d'água como eutrófico. No caso específico do reservatório da UHE Bakun, esse valor foi ultrapassado durante todo o período simulado (450 dias).

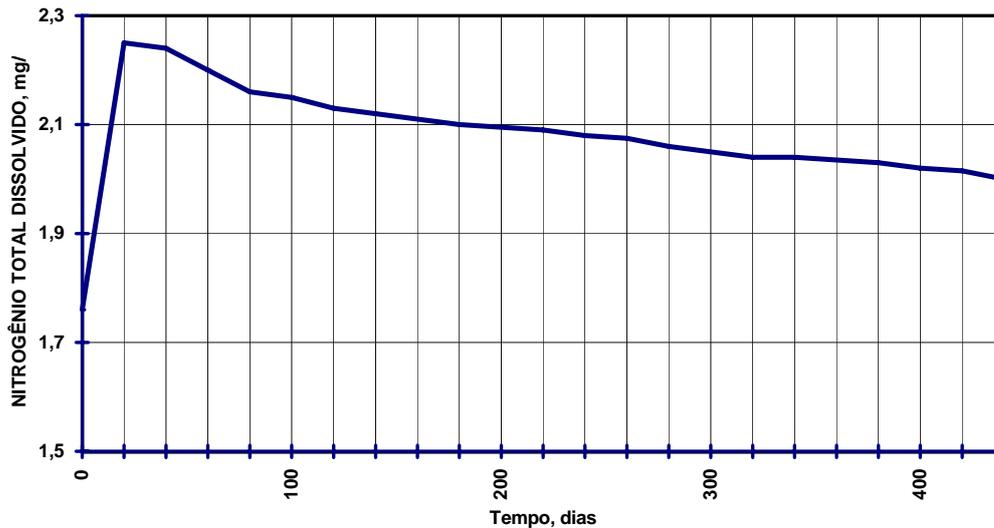


Figura C: Evolução da demanda bioquímica de oxigênio durante o enchimento.

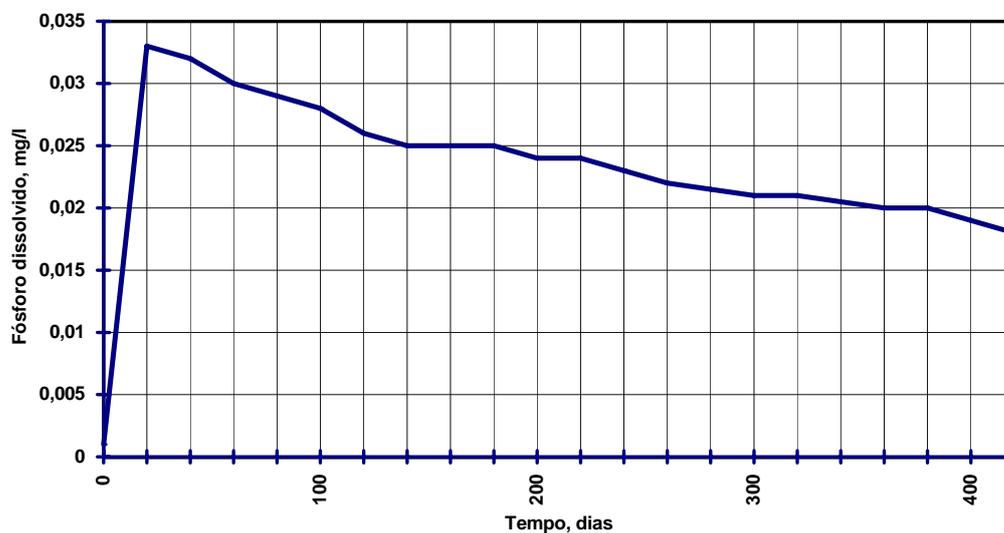


Figura D: Variação do teor de fósforo durante o enchimento.

3. DESMATAMENTO

A limpeza da bacia de inundação, através do desmatamento, é uma das alternativas frequentemente sugeridas para a minimização dos impactos na qualidade da água de futuros reservatórios.

Contudo, *poucos são os empreendimentos hidroelétricos já implantados em que essa alternativa foi empregada adequadamente*, aos níveis necessários para se obter água de melhor qualidade no reservatório. Em geral, apenas uma pequena área próxima da barragem é objeto de ações de desmatamento, com outras finalidades que não a melhoria da qualidade da água, *para a qual este desmatamento localizado pouco contribui*.

Os custos elevados associados ao desmatamento e as dificuldades encontradas na operacionalização da limpeza em tempo hábil, são citadas às vezes como motivos para a inviabilização do desmatamento da área de inundação. Outro aspecto importante a considerar é o poder de regeneração da vegetação, principalmente em

áreas de florestas tropicais. O desmatamento poderá ser completamente inócuo caso não se empreguem meios e técnicas para controlar a recomposição vegetal e a rebrota.

A queima da vegetação aparece como um das alternativas. Contudo, o potencial de fertilidade das cinzas resultantes poderia levar o futuro reservatório a um estado de *hiper eutrofização*, pois ao reduzir-se a disponibilidade total de carbono, liberam-se quase que instantaneamente os nutrientes necessários ao desenvolvimento de fitoplâncton e macrófitas aquáticas.

Isso significa que as cinzas resultantes da queima da vegetação devem ser removidas da bacia de inundação ou enterradas com material impermeável, antes do enchimento do reservatório, o que torna os procedimentos de limpeza prévia complicados, além de impedir o eventual aproveitamento do potencial biológico existente.

4. ÉPOCAS DE ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO

Uma alternativa para atenuação dos níveis de eutrofização no reservatório e dos períodos críticos com baixos teores de oxigênio consiste na escolha do período hidrológico mais adequado para o início da operação de enchimento do reservatório.

Sem entrar-se em considerações a respeito da logística mais adequada para a construção, simulou-se o enchimento do reservatório para comparação das tendências *globais* das condições limnológicas em função de diferentes épocas de início de enchimento, independentemente de quaisquer outras medidas mitigadoras aplicáveis.

Nestas simulações, verificou-se que os tempos de enchimento variam relativamente pouco, em termos hidrológicos médios, entre 384 e 405 dias, como no quadro abaixo:

Quadro A: UHE BAKUN - Variação do período de enchimento e dos parâmetros de qualidade da água em relação à variação da vazão média mensal.

MES	TEMPO DE ENCHIMENTO (dias)	PERÍODO DE ANAEROBIOSE (dias)	PERÍODO COM OD < 4 mg/l (dias)	DBO Máx. (mg/l)	N Máx. (mg/l)	P Máx. (mg/l)
JANEIRO	390	201	426	23,1	2,18	0,029
FEVEREIRO	390	195	426	23,8	2,19	0,030
MARÇO	390	201	426	23,3	2,17	0,029
ABRIL	387	240	429	23,0	2,19	0,030
MAIO	393	249	435	24,7	2,22	0,032
JUNHO	402	264	432	26,8	2,24	0,033
JULHO	405	237	423	28,0	2,25	0,033
AGOSTO	396	237	411	25,9	2,20	0,030
SETEMBRO	393	216	405	24,4	2,19	0,030
OUTUBRO	387	213	402	22,7	2,15	0,028
NOVEMBRO	384	213	408	21,4	2,16	0,028
DEZEMBRO	387	225	425	22,4	2,17	0,029

Embora as oscilações das variáveis analisadas não tenham sido acentuadas (Figuras 6 a 9), a partir deste estudo verificou-se que o período entre abril e agosto seria o menos favorável para o início do enchimento, quanto à atenuação da eutrofização e ocorrência de anaerobiose.

O exame do quadro acima e das figuras 6 a 9 indica, por outro lado que, na verdade, as condições hidrológicas da região de Bornéu não propiciam o aparecimento de período acentuadamente diferenciado que favoreça as condições limnológicas iniciais do reservatório.

Portanto, a época do enchimento poderá ser condicionada exclusivamente por questões logísticas da obra.

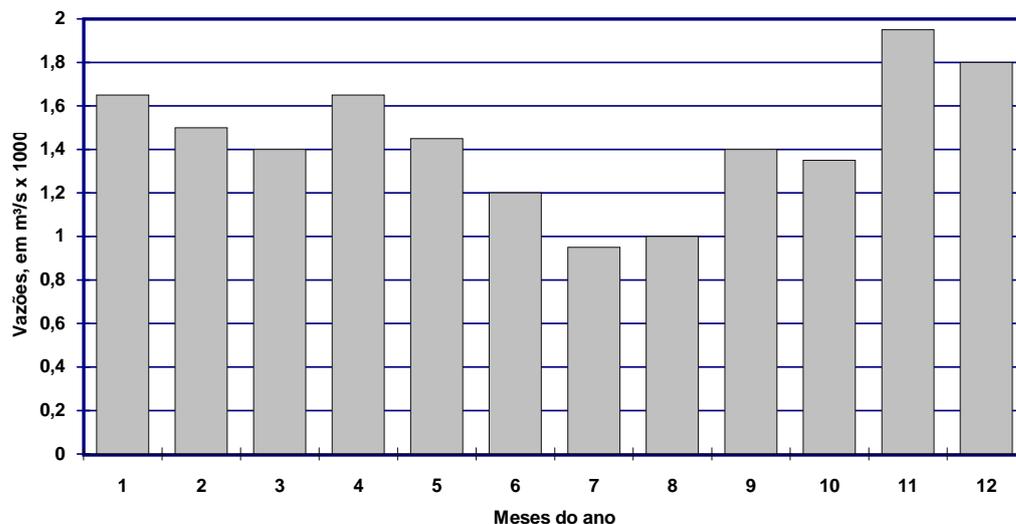


Figura E: Condições de vazões afluentes ao reservatório de Bakun (médias).

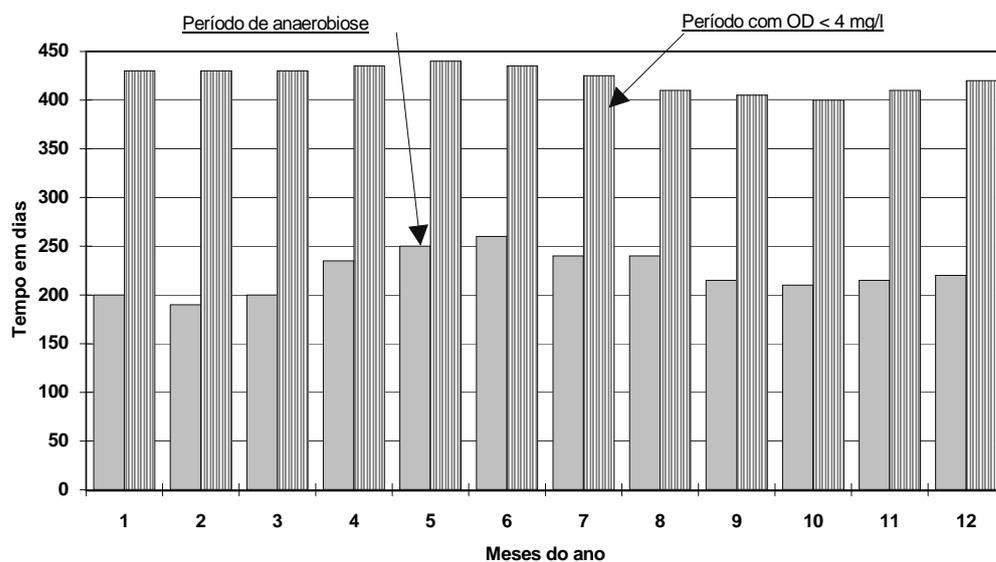


Figura F: Variações quanto ao mes de enchimento.

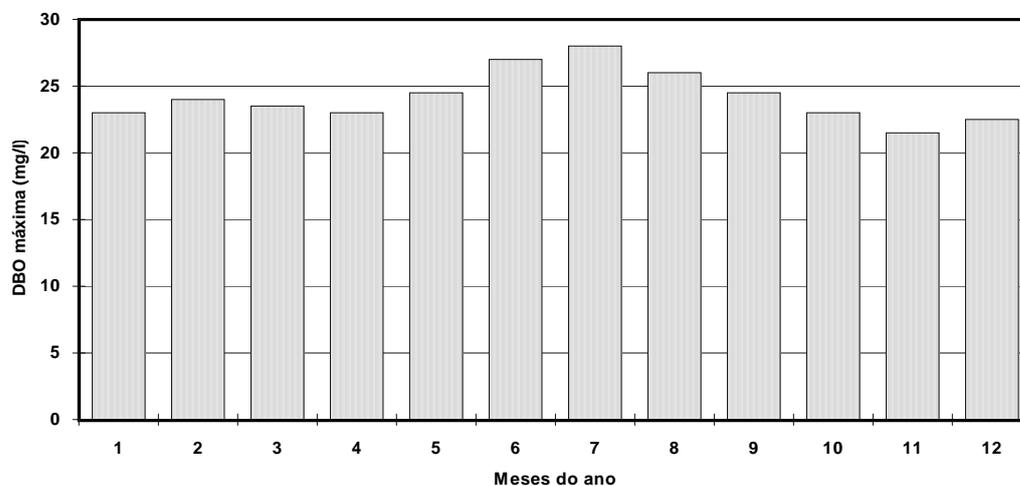


Figura G: Variação da DBO máxima de acordo com o mes de início de enchimento.

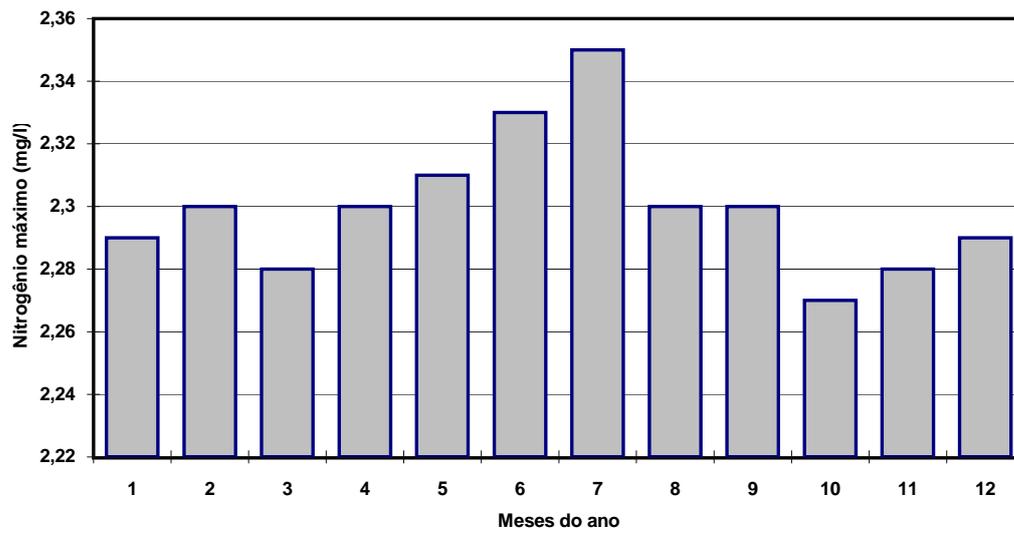


Figura H: Variação do nitrogênio máximo de acordo com o mes de início de enchimento.

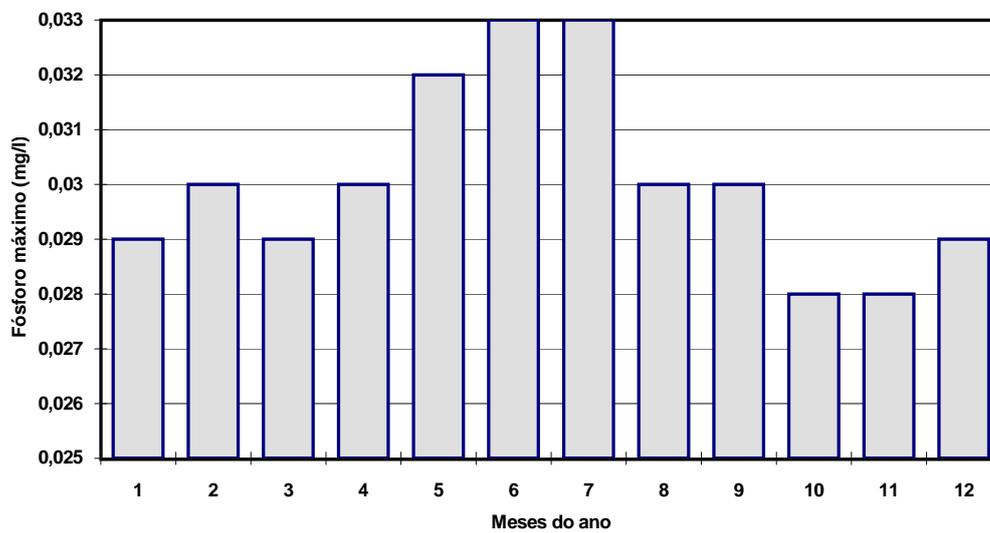


Figura I: Variação do fósforo máximo de acordo com o mes de de início de enchimento.

5. HIPÓTESES DE LIMPEZA DO RESERVATÓRIO

Em vista das dificuldades apontadas anteriormente, devem buscar-se meios e informações que possibilitem otimizar os benefícios sobre a qualidade da água advindos das ações de desmatamento. Nesse sentido, realizou-se um estudo de simulação numérica com o objetivo de avaliar, de maneira sistemática, algumas alternativas de desmatamento para o caso de Bakun.

As hipóteses foram escolhidas de maneira a permitir o balizamento inicial, bastante abrangente, da resposta de variação de qualidade da água, considerando, inclusive, o caso extremo de nenhuma intervenção na fitomassa existente e, por outro lado, a situação de 75% de desmatamento da área a ser alagada. As hipóteses analisadas correspondem às seguintes situações:

1. Sem qualquer intervenção na biomassa existente na área alagada;
2. Remoção uniforme de 25% da fitomassa;
3. Remoção uniforme de 50% da fitomassa;
4. Remoção uniforme de 75% da fitomassa;
5. Remoção total da fitomassa.

Em todos os casos anteriormente enumerados, não houve consideração de queima da vegetação, variação da época de início de enchimento e mudanças nos valores das vazões defluentes durante a operação de enchimento. Também foi assumido o controle total da recomposição e rebrota da vegetação das áreas desmatadas. Tendo em vista os diferentes graus de remoção de biomassa, conforme as hipóteses assumidas, o quadro a seguir apresenta a variação dos períodos de duração da anaerobiose e de depleção do oxigênio dissolvido (período com OD < 4 mg/l).

Através desse quadro, apresentam-se também os valores mínimos de oxigênio dissolvido e máximos de DBO, nitrogênio total e fósforo total, em relação às hipóteses de desmatamento. Com base nas variações temporais das concentrações de oxigênio dissolvido, verifica-se que os períodos críticos de anaerobiose e de depleção (OD < 4 mg/l) são atingidos após um curto espaço de tempo, a partir do início do enchimento.

Quadro B: UHE BAKUN - Simulação das alternativas de desmatamento.

HIPÓTESE	ÁREA DESMATADA		PERÍODO DE ANAEROBIOSE	PERÍODO DE OD < 4	DBO máx	N máx	P máx
	%	km ²	dia	dia	mg/l	mg/l	mg/l
1	0	0.0	237	423	28,0	2,25	0,033
2	25	181.2	48	318	5,7	1,99	0,017
3	50	362.5	0	207	2,9	1,91	0,010
4	75	543.7	0	0	1,8	1,84	0,006
5	100	725.0	0	0	1,0	1,72	0,001

Como era de se esperar, à exceção dos teores mínimos de oxigênio dissolvido, todas as demais variáveis se mostraram inversamente proporcionais à quantidade de fitomassa removida. Entretanto, apresentam padrões distintos de decaimento, em função do fluxo hidráulico e das taxas de reação, específicas dos processos de lixiviação e de consumo (sob condições aeróbicas e anaeróbicas).

Estas hipóteses estão ilustradas nas figuras 10, 11 e 12, a seguir:

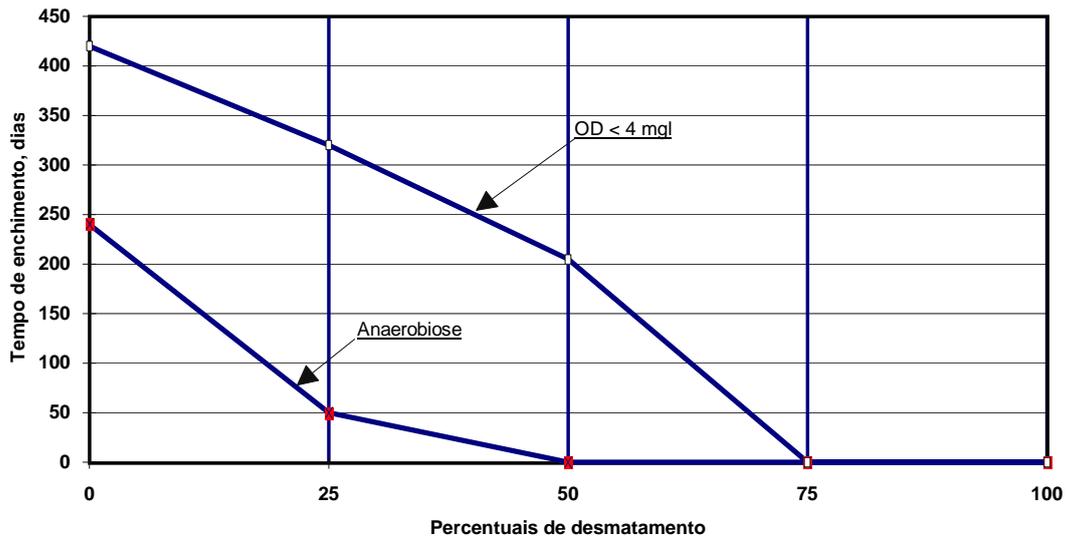


Figura J: Períodos de anaerobiose e oxigênio dissolvido menor que 4 mg/l, em função do grau de desmatamento.

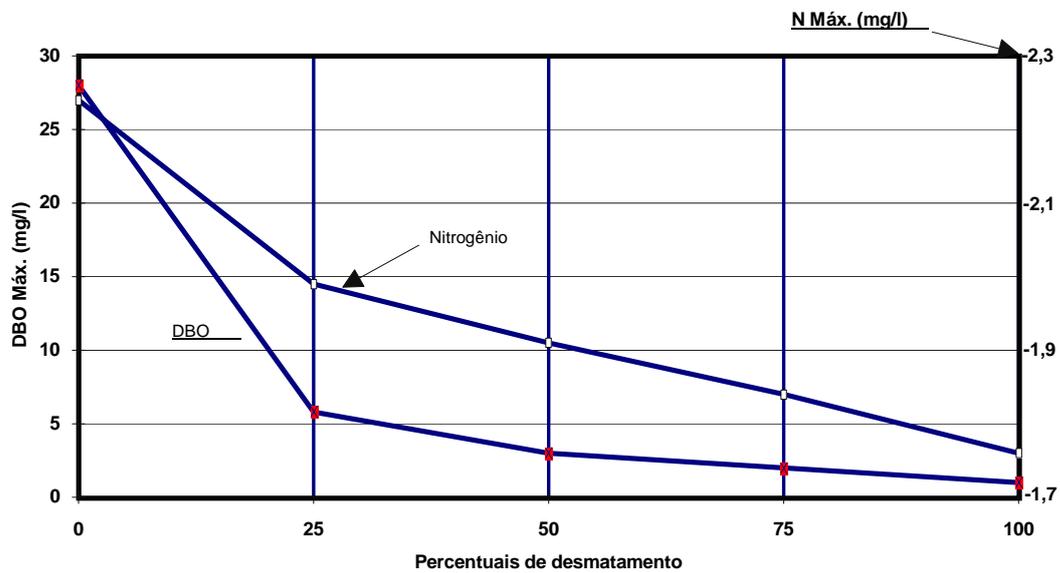


Figura K: Valores máximos de DBO e nitrogênio em função do grau de desmatamento.

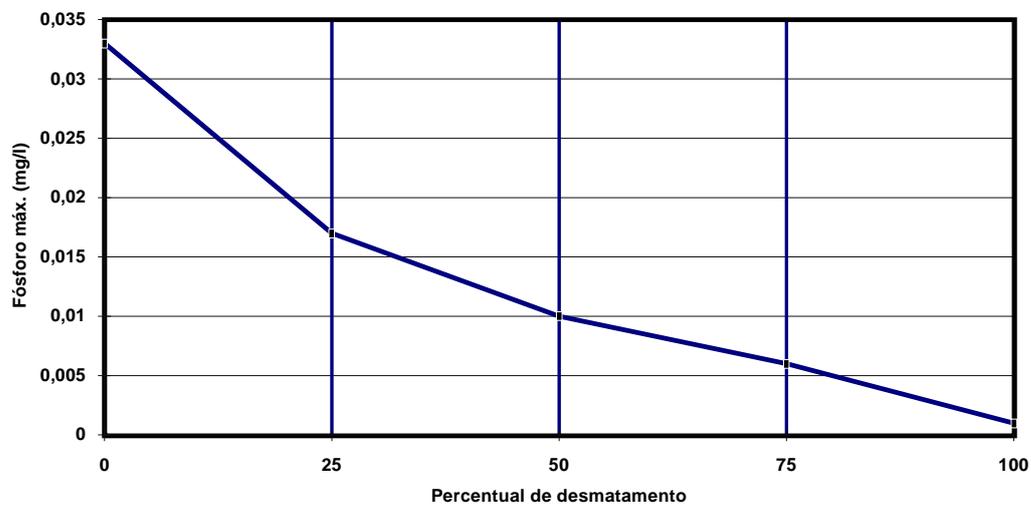


Figura L: Valores máximos de fósforo em função do grau de desmatamento.

A análise dos resultados apresentados através do quadro e figuras acima conduz aos seguintes comentários:

- Excetuando-se os casos das hipóteses 4 e 5, de remoção de biomassa, não haveria condições, nas demais hipóteses, de ser mantido o nível mínimo de oxigênio dissolvido admitido como necessário à preservação da fauna íctica (4 mg/l), durante a fase de enchimento e estabilização.
- Desse modo, os peixes de fundo deverão ser atingidos pela falta de oxigênio, sendo que algumas espécies de superfície poderão eventualmente escapar, protegendo-se nas camadas superficiais, com tendência a uma maior oxigenação, por efeito do contato com a atmosfera (o modelo considera a coluna de água totalmente misturada, sem considerar a possível estratificação do sistema).
- A atenuação dos períodos de depleção de oxigênio dissolvido e anaerobiose depende, em grande parte da ação de desmatamento. Esse fator pode ser utilizado para exemplificar parte da amplitude do impacto ambiental esperado, assim como índice de qualidade da água do reservatório.
- Nesse sentido, esses resultados mostram que quanto maior for a retirada da fitomassa, antes do barramento do rio, melhor deverá ser o padrão límnico que será estabelecido no reservatório da UHE Bakun e na qualidade da água a jusante.
- Em todas as hipóteses assumidas, as concentrações máximas de fósforo caracterizam a formação de um sistema **eutrófico**. Quanto ao nitrogênio, os valores máximos estimados caracterizam o reservatório como um sistema oligo-mesotrófico.

Foram realizadas também, simulações com relação à época de enchimento e período hidrológico, sendo que essas medidas não apresentam variações significativas nas condições da qualidade da água.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados obtidos nas simulações levou às seguintes recomendações de caráter geral:

1. Tendo em vista as diferenças obtidas entre os cinco cenários de desmatamento estudados, e um leve ganho marginal para as hipóteses 2 e 3, com relação ao custo de desmatamentos e as variáveis limnológicas em questão, os resultados sugerem que estas hipóteses devam ser adotadas como ponto de partida para estudos mais profundos.
2. Considerando as limitações do modelo, principalmente o fato de considerar o reservatório como um sistema único e completamente misturado e, portanto, não reconhecendo uma melhor qualidade da água de diferentes regiões e nas camadas superficiais, recomenda-se que esses estudos sejam complementados futuramente com simulações, através de modelos matemáticos, que considerem uma diferenciação espacial horizontal e a estratificação térmica vertical.

Por outro lado, o desmatamento na área de inundação aparece como a única medida capaz de minimizar os efeitos do represamento na qualidade da água. As simulações mostraram, contudo, que não há necessidade de desmatar 100% da área,

diferentemente do que fora recomendado nos estudos realizados pelo SAMA Consortium.

Nas condições simuladas de desmatamento e considerando as limitações do modelo aplicado, somente a partir de cerca de 75% da área desmatada é que se teria a manutenção dos teores mínimos de oxigênio adequados à ictiofauna, desde o início do enchimento. Desmatamento de 50% da área, por sua vez, não permitirá a ocorrência de período de anaerobiose. Com 25% de área desmatada, esse período seria reduzido para 48 dias. Quanto aos valores de DBO, nitrogênio e fósforo, os resultados da simulação indicam redução significativa de sua carga na massa de água a partir do desmatamento de 25% da área de inundação.

Quanto às indicações para o zoneamento do desmatamento, tendo em vista o seu custo, o ritmo das obras e os outros possíveis usos do reservatório, o estudo aqui relatado, dadas as características do modelo de simulação adotado, não permitiu nenhuma conclusão. Porém, em função dos resultados citados no item anterior, que indicam melhoras nas condições límnicas com desmatamentos parciais, recomenda-se que estudos mais aprofundados sejam realizados, com simulações com modelos matemáticos que contemplem uma diferenciação espacial horizontal e estratificação térmica vertical. Para tanto, seriam necessários:

- ❑ realização de bioensaios específicos de degradação da vegetação;
- ❑ monitoramento limnológico dos cursos d'água da área;
- ❑ dados hidrometeorológicos.

Dadas as limitações do modelo aplicado, e levando em consideração a experiência brasileira, pode-se concluir que os estudos mais aprofundados deverão indicar desmatamento inferior a 50% da área total do reservatório, para garantir um nível aceitável de qualidade da água.

7. ASPECTOS BIOLÓGICOS ESPECÍFICOS ASSOCIADOS AO RESERVATÓRIO

7.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Além das, recomendações acima, várias outras, específicas dos aspectos biológicos em geral associados ao reservatório, foram apresentadas, como a seguir se resume:

Os impactos sobre o meio biológico, de uma maneira geral, ocorrerão já no início dos trabalhos de construção, através das incursões humanas na área, com ações de desmatamento, abertura de acessos, movimentos de terra destruindo a vegetação em locais de abrigo, forrageamento e reprodução da fauna. Essas atividades além de causarem a perda de espécies vegetais importantes para o ecossistema, causam "stress" nos animais, além de atropelamento, caça furtiva e depredação dos ambientes naturais.

A diversidade biológica numa floresta tropical é intensa. Segundo um estudo realizado pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos da América, avalia-se que numa área de pouco mais de 6 km² de floresta tropical existem 750 espécies de árvores, 125 tipos de mamíferos, 400 espécies de aves, 100 de répteis e 60 de anfíbios; em cada árvore chegam a viver 400 insetos diferentes. *Portanto não é nada recomendável que se destruam ambientes nessas condições, antes de se tê-los estudado detalhadamente.*

A experiência brasileira na implantação de grandes reservatórios em florestas tropicais ou com outros tipos de ocupação tem demonstrado que o salvamento e resgate de animais são medidas de caráter emergencial e com resultados bastante questionáveis.

O grande problema que se verifica na construção de reservatórios em áreas de florestas densas é a necessidade da retirada de vegetação nos locais das obras, e o desmatamento ou afogamento da vegetação na área do reservatório, dependendo do tratamento que se queira imprimir às condições limnológicas, sem que se conheçam previamente os ambientes a serem afetados.

Somente o seu conhecimento detalhado possibilitará que se estabeleçam programas e medidas de compensação dos efeitos adversos sobre os ecossistemas existentes.

7.2. EFEITOS SOBRE A VEGETAÇÃO

7.2.1 Trabalhos de desmatamento

1. Os desmatamentos devem ser restritos às áreas onde os mesmos se mostrem indispensáveis por razões técnicas, com aproveitamento econômico da madeira, evitando-se queimas dos restos vegetais. Estas áreas correspondem ao canteiro, acessos, locais de reassentamentos e linha de transmissão;
2. Na área do reservatório, o desmatamento prévio deverá levar em conta a necessidade de preservação das futuras ilhas e os usos múltiplos do reservatório, incluindo-se rotas de navegação em locais de baixa profundidade, locais de acostagem, etc;
3. O desmatamento do reservatório deverá ser precedido de um planejamento executivo que leve em conta o aproveitamento econômico da madeira de valor comercial;
4. Em locais de baixa profundidade do reservatório, poderá ser feita a eventual exploração submersa da madeira no futuro;
5. Nos trabalhos de desmatamento, não se deverá usar produtos químicos. Essa recomendação deverá ser levada em conta nos futuros trabalhos de manutenção das linhas de transmissão;
6. As áreas degradadas, incluindo as que serão abandonadas após a desativação do canteiro, deverão ser reabilitadas e revegetalizadas em harmonia com as condições naturais locais.

7.2.2 Realização e/ou aprofundamento de inventários florísticos e florestais

Deverão atender as seguintes finalidades:

- conhecimento da flora das áreas a serem afetadas pelo Empreendimento e seus entornos;
- comparação entre a vegetação que será perdida e a remanescente, para estabelecimento de eventuais programas de salvamento de espécies que ocorram apenas nas áreas a serem afetadas;
- estabelecimento de áreas de reservas com formações florestais semelhantes às que serão afetadas, e delimitação de áreas nas vizinhanças do futuro reservatório que deverão ser preservadas de quaisquer ações antrópicas, tendo em vista que as concessões para exploração madeireira, hoje existentes, exercem pressão sobre as florestas da região do Empreendimento;
- estabelecer limites para as atividades extrativistas, de modo a se preservarem, no futuro, faixas de vegetação em torno do reservatório, necessárias à proteção do corpo d'água e à sua integração harmônica com suas áreas marginais;

- estabelecer critérios para o planejamento executivo do desmatamento do reservatório, levando em conta a necessidade de preservação das futuras ilhas, bem como a rentabilidade econômica da exploração madeireira;
- identificação e seleção de espécies para revegetalização de áreas degradadas, em trabalhos de reabilitação;
- estabelecimento de áreas de reservas florestais em trechos com vegetação remanescente, levando-se em consideração os sítios de maior importância para a fauna local.

Tendo em vista o plano geral de obras, os levantamentos nas áreas de acesso e do canteiro de obras poderão ter caráter expedito por necessidades cronológicas e logísticas.

Na área do reservatório os levantamentos deverão ser efetuados de forma bastante detalhada.

7.3. EFEITOS SOBRE A FAUNA

7.3.1 Considerações gerais

O resgate faunístico, utilizado na maioria dos casos como medida extrema, nem sempre é conduzido de forma adequada. Normalmente as espécies mais raras, sendo logicamente as de maior dificuldade de localização, são preteridas em função das mais comuns.

Desta forma, o procedimento de resgate faunístico deve ser planejado, projetado e executado com antecedência considerável, a partir do início das obras ou antes, se possível. Seu prazo final de execução deve estar condicionado ao início do enchimento do reservatório. Na formação do lago, caso sejam seguidos estes procedimentos, o resgate ficará restrito a operações de caráter emergencial, para salvamento de animais.

7.3.2 Procedimentos gerais

1. Para evitar a atração de roedores e animais nocivos para as áreas residenciais do canteiro, todo o lixo orgânico deverá ser acondicionado e aterrado;
2. A caça furtiva deverá ser proibida nas imediações do canteiro;
3. No traçado das estradas e caminhos de acesso, deverão ser consideradas questões relativas aos "habitats" da fauna;
4. A queima de vegetação deverá ser evitada devido a eventuais propagações de incêndios nas matas.

7.3.3 Inventários faunísticos

Deverão ser realizados ou aprofundados, para a elaboração do projeto de atração e manejo da fauna, e também para as operações emergenciais de resgate e salvamento, bem como para delimitações de áreas de reserva.

7.4 ASPECTOS DA ICTIOFAUNA

Uma das principais conseqüências do represamento de um rio para a ictiofauna é a drástica alteração do ambiente lótico para ambiente lêntico, provocando o desaparecimento das espécies exclusivamente fluviais, e uma reordenação de todas as comunidades aquáticas remanescentes. Como nem todas as espécies previamente existentes no rio serão capazes de se adaptar, provavelmente a diversidade da ictiofauna no reservatório será menor de que no rio.

A experiência brasileira em reservatórios tem demonstrado ser absolutamente necessária a realização de estudos prévios e localizados, dado que as alterações introduzidas pelo reservatório são de difícil previsão, mas certamente poderão provocar o desaparecimento de algumas espécies e o favorecimento de outras.

Portanto, recomenda-se a realização de estudos sobre a ictiofauna para identificação das espécies existentes e elaboração de projetos de manejo ictiofaunístico, com finalidades ecológicas e econômicas.

