

USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL NA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE RESERVATÓRIOS COM PROJETOS DE AQUICULTURA

Modesto Guedes Ferreira Junior^{*1} & *André Luiz Ribeiro Valladão*² & *Luiz Gil de Solon Guimarães*³

Resumo

Prevendo-se a necessidade de expandir o volume de produção anual de alimentos para atender a esta nova configuração do mercado, o fortalecimento dos setores de pesca e aquíicultura passaram a ser considerados como uma diretriz de importância estratégica para a segurança alimentar da humanidade. O conhecimento dos efeitos das cargas de entrada sobre o corpo hídrico é subsídio importante para tomada de decisão com vistas ao uso sustentável destes mananciais estratégicos. A utilização da modelagem computacional possibilitam análises de cenários e prognósticos e, portanto, auxiliam na identificação das melhores diretrizes com relação aos objetivos propostos, facilitando o processo de tomada de decisão. Este trabalho apresenta uma metodologia para a avaliação da capacidade de suporte para empreendimentos da aquíicultura em reservatórios, especificamente a piscicultura intensiva de tilápias em gaiolas flutuantes, com descrição e aplicação no reservatório de Moxotó (PE/AL/BA).

Palavras-chave: Reservatórios; Capacidade de suporte; Aquicultura

COMPUTACION MODELING USAGE IN THE RESERVOIR SUPPORT CAPACITY EVALUATION WITH AQUACULTURE PROJECTS

Abstract

Foreseeing the need to expand the annual volume of food production to serve this new market configuration, the strengthening of fishing and aquaculture sectors has been considered as a guideline of strategic importance for the food security of humanity. This fact happens because fishing and aquaculture are considered a prime source of protein and a promising alternative for the productive employment creation in coastal regions in the present crisis context of the usual models of development. The knowledge of load entrance on the water body effects is an important subsidy for sustainable decision. In this way, the mathematical simulation models can contribute significantly in several management tools, such as location defining of monitoring stations or suitable places for effluent discharges, consenting analysis of the effluents launching and a choice of appropriate management techniques. This paper proposes a methodology for evaluating the supporting capacity of aquaculture ventures in tanks, specifically intensive fish farming in floating cages, with the description and application in the *Moxotó* (PE / AL / BA) reservoir, as well as some considerations on the management of aquaculture reservoirs.

Keywords: Reservoirs; Supporting Capacity; Aquaculture.

¹ Universidade Estácio de Sá - (modesto.junior@estacio.br)

² Universidade Estácio de Sá - (randre.valladaoestacio.br)

³ Universidade Estácio de Sá - (luiz.guimaraes@estacio.br)

1. Introdução

O aquinegócio é uma atividade que se desenvolve tecnologicamente e economicamente no mundo inteiro. A aquicultura em reservatórios no Brasil apresenta um grande potencial representado pelos milhões de metros cúbicos de águas represadas. A produção comercial de peixes em gaiolas flutuantes está apenas começando e num futuro próximo poderá tornar o país um dos maiores produtores mundiais de pescado, no referido sistema de produção.

ZANIBONI *et al* (2005) relatam que o Brasil possui 5,5 milhões de hectares de águas represadas, e que numa projeção, se 1% dessa área (55 mil hectares) fosse utilizada para produção intensiva de peixes (150 kg/m³/ano com dois ciclos anuais), teríamos como resultado uma produção de 82,5 milhões de toneladas. Esse valor colocaria o Brasil como o segundo maior produtor aquícola do planeta.

O Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA (2013) nos apresenta um estudo intitulado “Aquicultura Brasileira: Uma grande indústria de pescados em gestação”, realizado pelo Banco Rabobank, de origem holandesa, que em sua avaliação, “o Brasil reúne condições ideais para suprir o crescimento da demanda por pescados nos próximos anos.” Em matéria veiculado pelo jornal Valor Econômico (2012), a instituição calcula que a produção brasileira de pescados originadas em cativeiro alcançará cerca de 960 mil toneladas nos próximos nove anos, sendo o dobro da tonelagem registrada em 2010. Ainda o Rabobank, “O Brasil possui todos os ingredientes para se tornar a próxima superpotência em pescados, rivalizando com produtores como Tailândia, Noruega e China”.

O conhecimento dos efeitos das cargas de entrada sobre o corpo hídrico é subsídio importante para tomada de decisão com vistas ao uso sustentável destes mananciais estratégicos. De acordo com VALLADÃO (1999), os modelos matemáticos de simulação podem contribuir de maneira significativa em vários instrumentos de gestão, como por exemplo, definição da localização de estações de monitoramento ou de pontos adequados para descargas de efluentes, análise de outorga de lançamento de efluentes e escolha de técnicas adequadas de manejo do uso. Tal procedimento possibilitaria análises de cenários prognósticos e, portanto, auxiliaria na identificação das melhores diretrizes com relação aos objetivos propostos, facilitando o processo de tomada de decisão.

No caso de sua pesquisa, Valladão fez uma comparação entre os resultados obtidos pelo programa computacional Mike 21, que simulou o transporte e o destino de poluentes em águas costeiras no sentido de determinar as concentrações colimétricas, com as análises bacteriológicas de coliformes totais da água do mar em estudo efetuado nas praias a noroeste da Baía de Sepetiba. As análises de coliformes totais foram realizadas pelo método da Membrana Filtrante, em meio Cromocult, e pelo Método dos Tubos Múltiplos, executados em dias previamente estabelecidos. Os resultados obtidos pelo Mike 21 indicaram valores de colimetria compatíveis com os resultados das análises bacteriológicas e, muito embora o programa possuísse limitações numéricas quanto às condições de contorno, confirmaram a ótima qualidade do programa na simulação de poluição em águas costeiras.

Na prática, a utilização de modelos matemáticos é limitada pelas dificuldades de calibração e confirmações adequadas, em parte pela falta de dados de campo e, também, pela complexidade dos processos que ocorrem particularmente em cada ambiente. Entretanto, este trabalho foi

desenvolvido partindo da hipótese inicial que “modelos matemáticos são uma ferramenta” de apoio à decisão no processo de contenção da eutrofização com vistas ao monitoramento e implantação de empreendimentos aquícolas de forma sustentável.

Na piscicultura intensiva com a utilização de gaiolas flutuantes em grandes reservatórios, o principal insumo poluidor é a ração ofertada. Este sistema de produção depende totalmente do uso de ração, onde os resíduos são: desperdícios de ração em manejos inadequados e as fezes dos indivíduos cultivados que deverão ser absorvidos pelo ambiente aquático.

A partir da premissa básica que todo empreendimento aquícola se caracteriza em propiciar à espécie cultivada as condições equivalentes aos seus habitats naturais e da importância econômica e social da atividade, esse trabalho contribui com novas alternativas de gestão e normatização dos cultivos em gaiolas flutuantes em reservatórios aliada a uma metodologia de avaliação de capacidade de suporte, tendo o fósforo como fator limitante, levando em consideração a realidade operacional das fazendas aquícolas que cultivam tilápias instaladas ou em processo de implantação, através da modelagem computacional.

Em função da crescente demanda de solicitações de outorgas encaminhadas aos órgãos ambientais federais e estaduais responsáveis nas avaliações técnicas e liberações para implantação de empreendimentos aquícolas em grandes reservatórios, predominantemente para o cultivo de tilápia em gaiolas flutuantes, o aprofundamento de estudos qualitativos e quantitativos dos impactos desta atividade devem ser evidenciados com metodologias mais específicas e consistentes para a tomada de decisões que possam preservar os referidos corpos hídricos e, conseqüentemente, a própria atividade que necessita de um ambiente ecologicamente adequado para a produção de um pescado de alta qualidade.

2. A aquicultura em reservatórios

Os reservatórios de grande ou pequeno porte são utilizados para inúmeras finalidades: hidroeletricidade reserva de água para irrigação, abastecimento de água potável, produção de biomassa (cultivo de peixes e pesca intensiva), transporte (hidrovias) recreação e turismo. São ambientes complexos que apresentam mudanças dinâmicas impulsionadas pelas funções de forças climatológicas, hidrológicas e biológicas, pelas interações com as bacias hidrográficas e pelo regime de operação do sistema. O gerenciamento destes implica numa gestão integrada de um sistema complexo, incluindo o reservatório, sua bacia hidrográfica, as funções de força promovidas pelos usos múltiplos, os fatores climatológicos, hidrológicos, físicos, químicos e biológicos.

Estes mananciais hídricos estratégicos são sistemas cuja hidrodinâmica é intermediária entre o lótico e o lântico e geralmente apresentam elevada razão volume/superfície. Nesses corpos d'água, os nutrientes - nitrogênio e fósforo - promovem impactos que resultam na eutrofização. Mesmo que sejam promovidas ações que os mantenham livres de lançamentos de origem orgânica, os estoques de nutrientes acumulados ao longo do tempo nesses corpos d'água, ainda estarão em permanente troca nos compartimentos aquáticos.

É fundamental para a aquicultura a busca incessante da manutenção da qualidade da água, por razões tecnológicas, de sanidade animal e ambiental. Se a expansão da aquicultura for conduzida de forma irresponsável pode causar a poluição das águas, pelo acúmulo de substâncias químicas e orgânicas, contidas nos efluentes, diminuição da biodiversidade, interferindo nos níveis

tróficos pela alteração dos habitats, a hibridação e a introdução de espécies exóticas e consanguinidade (PÉREZ,1996). Por estes fatores, o planejamento eco-produtivo da aquicultura não fará com que a atividade possa ser considerada um dos principais problemas ambientais encontrados nos ecossistemas aquáticos.

O fósforo é um dos elementos químicos que mais tem proporcionado preocupações, especialmente nos países economicamente desenvolvidos. Essas preocupações se devem, não ao fato do fósforo de ser um contaminante em si, mas por ser considerado o elemento que mais contribui no desencadeamento da eutrofização dos ecossistemas aquáticos. Nesses países, tendo em vista o histórico de ocupação e uso dos solos para a agricultura, os níveis de fósforo na camada superficial são relativamente altos. Isto tem sido apontado por muitos pesquisadores como uma das principais fontes que contribuem para o aumento dos teores transferidos aos reservatórios aquáticos.

O efeito poluidor das gaiolas flutuantes depende da intensidade de produção dos peixes, da dispersão dos resíduos efluentes e da capacidade de assimilação do ambiente, conforme pode ser visto na Figura 1 abaixo. Portanto, para acompanhar as recentes tendências mundiais voltadas para o desenvolvimento da aquicultura é preciso compatibilizar a produção e a conservação ambiental. Para isso, é fundamental que haja um intercâmbio maior de informações técnico-científicas entre os setores produtivos e os órgãos ambientais, para que sejam definidas regulamentações ambientais racionais que possibilitem o desenvolvimento da aquicultura em bases responsáveis.

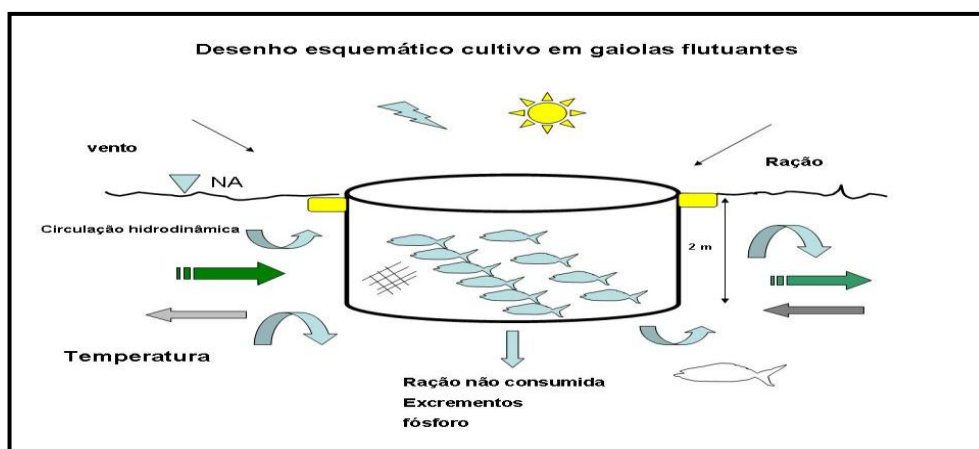


Figura 1. Esquema do cultivo em gaiolas flutuantes, arraçoamento⁴, circulação hidrodinâmica e resíduos lançados no corpo hídrico.

A espécie cultivada atualmente em escala comercial nos reservatórios é a tilápia chitralada (*Oreochromis niloticus*), uma espécie considerada como uma das últimas reservas genéticas da tilápia do Nilo de linhagem pura. Introduzida no Brasil a mais de 30 anos, técnicos e empresários, preocupados com a degeneração genética das tilápias nilóticas brasileiras, trouxeram o primeiro lote deste peixe para o Brasil. Em 1999 técnicos da Bahia Pesca, introduziram em caráter experimental, alguns lotes de tilápia chitralada para serem cultivadas em gaiolas flutuantes nas águas formadas pelo reservatório da Usina de Xingó no vale do São Francisco de onde se originaram os primeiros resultados.

3. Área de estudo

⁴ Termo utilizado para o ato de fornecimento de ração para os peixes nas gaiolas flutuantes

Neste trabalho, a proposta metodológica de avaliação de capacidade de suporte será aplicada no reservatório de Moxotó, localizado na Bacia do São Francisco.

A Bacia do São Francisco possui uma área de aproximadamente 639.000 km² e seu curso principal tem uma extensão de 2.700 km entre as cabeceiras, na Serra da Canastra, em terras do município de São Roque de Minas (MG), e a foz, no Oceano Atlântico, entre os estados de Sergipe e Alagoas, abrangendo parte de seis estados e do Distrito Federal. Destaca-se que a bacia compreende uma parte significativa do Polígono das Secas, que constitui um território reconhecido como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens e situa-se, majoritariamente, na região Nordeste. A região do sub-médio está situada no semi-árido nordestino. O clima, segundo a classificação de Köppen, é o semi-árido de estepes (Bshw), com precipitações médias anuais de 560 mm.

O reservatório de Moxotó apresenta uma área de 98 km² e um volume total de 1,2 bilhões de m³ e útil de 0,2 bilhão. A profundidade média do reservatório é de 13 metros, com a cota máxima da barragem de 141 metros.

4. Metodologia proposta

A metodologia proposta foi desenvolvida levando-se em consideração todo o processo de autorização de outorga, incluindo os aspectos legais e requisitos técnicos necessários. Em relação aos aspectos técnicos, os dados utilizados para os cálculos das cargas das fontes poluentes, especificamente das pisciculturas, são originários de experiências profissionais e pesquisas bibliográficas.

A utilização da modelagem computacional pode ser plenamente justificada, pois segundo ROSMAN (2011) além de serem usados para previsão do escoamento ou movimento das águas (hidrodinâmicos), podem ser usados para previsão da qualidade das águas ou transporte de grandezas escalares (dispersão).

A proposição metodológica está embasada na autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura, caracterizada no Decreto nº. 4.895, de 25 de novembro de 2003 e na Instrução Normativa - INInº. 07, de 28 de abril de 2005.

4.1. Procedimentos metodológicos

Com a definição do corpo hídrico a ser analisado para avaliação de capacidade de suporte em aquicultura foram adotadas todas as etapas discriminadas no Manual do Usuário do SisBAHIA para execução dos Modelos existentes no Sistema disponível em <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br>.

Os procedimentos metodológicos, através da modelagem computacional são os seguintes:

Procedimento 1 – Modelagem Hidrodinâmica

Elaboração e execução do modelo hidrodinâmico no corpo hídrico modelado.

Procedimento 2 – Definição das fontes contaminantes de fósforo total

Localização pelas coordenadas UTM do mapa base das fontes contaminantes, tais como: reservatórios a montante, rios, cidades, pisciculturas instaladas e outras fontes, dependendo do corpo hídrico estudado.

Procedimento 3 – Estimativo das cargas de fósforo total para pisciculturas

Durante todo cultivo, além das medições limnológicas conhecidas, os indivíduos são estocados de acordo com as várias fases de crescimento, sendo alimentados diariamente com ração balanceada comercial, onde a granulometria e os índices de proteína variam de acordo com o crescimento dos mesmos. A oferta da ração (arraçoamento) é calculada em função do peso médio dos peixes estocados em cada gaiola e de uma porcentagem específica que resulta num determinado peso de ração que deve ser ofertado entre 6 (seis) e 12 (doze) porções proporcionais durante o dia. Geralmente as alimentações iniciam-se às 7:00 hs com término às 17:00 hs. A Figura 3, ilustra o esquema de um empreendimento instalado e em processo produtivo caracterizado como fonte contaminante.

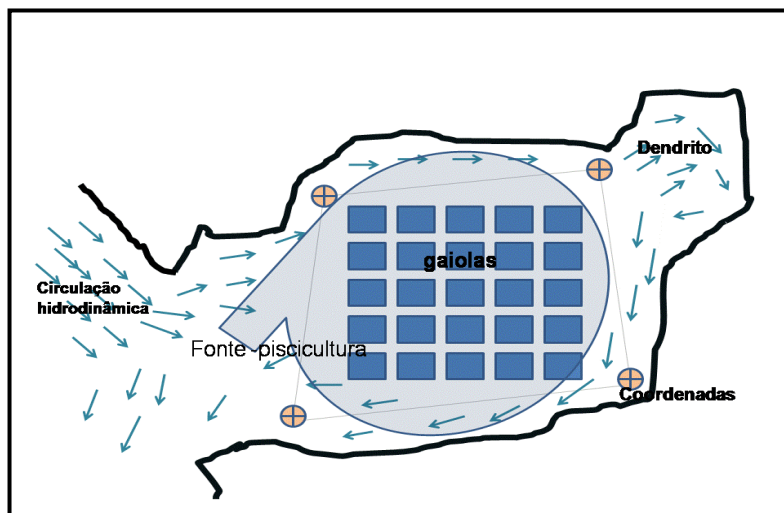


Figura 3. Desenho esquemático de um empreendimento implantado.

Objetivando se aproximar da rotina de arraçoamento diária de empreendimentos instalados em reservatórios, estimamos a carga de fósforo lançada no reservatório, via fornecimento de ração e fezes excretadas dos indivíduos em processo produtivo nas fases de cultivo, normatizando em 20 m³ o volume da gaiola flutuante, demonstrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Estimativa dos quantitativos de ração não absorvida e fezes expelidas por dia e por gaiola de 20 m³ nas respectivas fases de cultivo.

FASES				Biomassa				Ração			
	Período cultivo	Volume /gaiola	Taxa Estocagem	Número Individuoas		Peso Inicial	Peso Final	Período	%	Ofertada / período	Taxa Conv.
	dias	(m ³)	(/ m ³)	Inicial	Final	(gramas)		(kg)	Ração/dia	(kg)	
	28	20	250	5,000	4,250	0.5	6	26	13	93	3.64
FASE I	56	20	213	4,250	3,500	6.1	32	112	10	314	2.80
	84	20	175	3,500	3,250	32	93	302	6	508	1.68
FASE II	112	20	163	3,250	3,000	93	185	555	5	777	1.40
	140	20	150	3,000	2,750	185	426	1172	4	1312	1.12
FASE III	168	20	138	2,750	2,125	426	787	1672	2	937	0.56

	180	20	106	2,125	1,750	787	1,000	1750	1	490	0.28
TOTAIS											4430

Observações: Dimensões da gaiola: diâmetro de 3,5m x 2,1m (altura) = 20 m³ e Biomassa (Kg): (Peso médio (gramas) x indivíduos) / 1000 gramas

Tabela 2. Estimativa média de carga de fósforo por gaiola por dia, nas fases de cultivo.

FASES	Ração não absorvida	Fezes expelidas	P / tonelada	P/fezes	Período 28 dias	P (fósforo)
	15%	(0.5% biomassa)	(*) P/ração			
	(kg)	(kg)	20 kg / ton			
	13.92	0.13	0.28	0.005	0.28	0.010
FASE I	31.36	0.56	0.63	0.02	0.65	0.023
	50.78	1.51	1.02	0.06	1.08	0.038
FASE II	77.70	2.78	1.55	0.11	1.67	0.059
	131.21	5.86	2.62	0.23	2.86	0.102
	93.65	8.36	1.87	0.33	2.21	0.079
FASE III	49.00	8.75	0.98	0.35	1.33	0.111
TOTAIS	447.62	27.94	8.95	1.12	10.07	
MÉDIA						0.06

(*) Segundo, HAAKANSON ET AL (1988)

As estimadas cargas de fósforo total lançadas no ambiente por gaiola por dia serão adotadas para a caracterização das fontes contaminantes, no reservatório onde será aplicada a metodologia.

Procedimento 4 – Quantificação e inserção das vazões contaminantes de fósforo no modelo computacional

- Vazão das pisciculturas

A vazão de uma piscicultura instalada ou em processo de outorga é determinada da seguinte forma:

- Adotamos para a modelagem gaiolas circulares com 3,5m de diâmetro, perfazendo uma área pde 25 m², espaçamento necessário para circulação hidrodinâmica na gaiola e procedimentos operacionais. A Figura 3 configura o explicitado anteriormente.

Em função do comprimento e largura da região fonte determina-se através desta área total o número de gaiolas.

- A partir do número de gaiolas, calculamos a vazão total da piscicultura utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Vazão da piscicultura (m}^3\text{/s)} = \frac{\text{carga de fósforo (kg/dia)} \times \text{N}^{\circ} \text{ gaiolas}}{\text{concentração fósforo (1.823)} / 86400 \text{ segundos}}$$

$$P_a = P_{máx} - P_e$$

Vazão da piscicultura (m³/s) = carga de fósforo (kg/dia) x N^o gaiolas / concentração fósforo (1.823) / 86400 segundos.

- Demais vazões

Para determinação de outras vazões como a de reservatórios a montante, rios, cidades e outras, conforme as especificidades de modelagem do corpo hídrico, a fórmula é a seguinte:

$$\text{Vazão (m}^3/\text{s)} = \frac{\text{carga de fósforo (kg/dia)}}{\text{concentração fósforo (1.823) / 86400 segundos}}$$

Vazão (m³/s) = carga de fósforo (kg/dia) / concentração fósforo (1.823) / 86400 segundos.

5. Modelagem computacional.

A área modelada do reservatório, foi delimitada no trecho a jusante da barragem do reservatório de Itaparica até a barragem do reservatório de Moxotó no sub-médio do São Francisco, situada em áreas dos Estados de Bahia, Pernambuco e Alagoas.

Os estudos preliminares para a aplicação dos modelos do SisBAHIA, adotados neste trabalho, iniciaram-se com a elaboração de um mapa base. Os contornos foram traçados através de um mapa geo-referenciado via GOOGLE EARTH, <http://earth.google.com>, conforme figura 4 a seguir.

Os índices utilizados neste trabalho foram coletados através do Centro de Estudos Climáticos e de Previsão do Tempo – CPTEC, aeroporto de Paulo Afonso (BA), obtidos no site www.cptec.inpe.br. Os dados obtidos indicam uma predominância das direções S e SE, com velocidades variando entre 10 e 30 km/h.

As informações relativas à batimetria, podem ser vistas na figura 5 a seguir, incluindo os contornos de margens, utilizadas neste estudo, foram obtidas das seguintes fontes:

- Considerando as estações definidas por OLIVEIRA (2004), onde os dados relativos à batimetria destas estações foram extrapolados pelo SisBAHIA.
- Dados repassados pelo engenheiro Jorge Pimentel, da ANA.

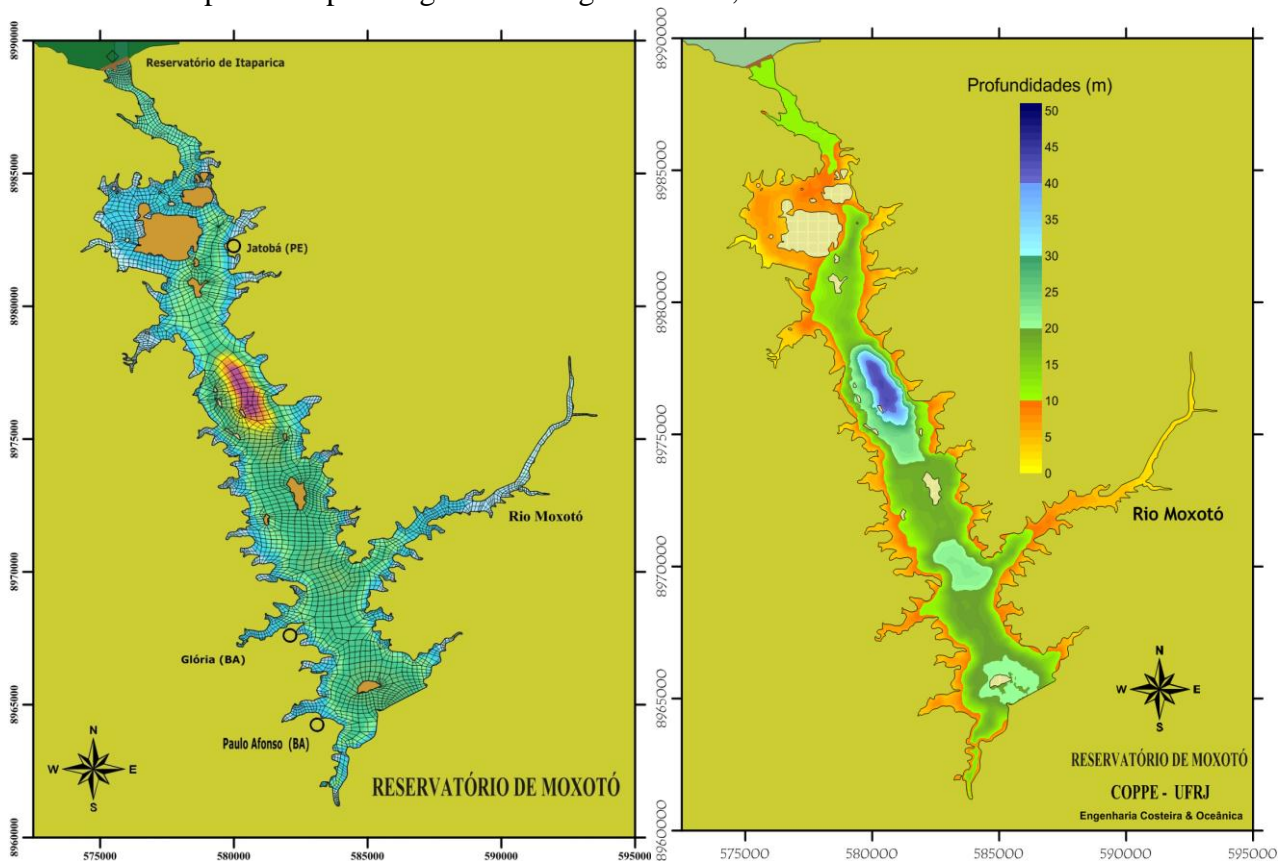


Figura 4. Mapa Base do reservatório de Moxotó.

Figura 5. Batimetria modelada

5.1. Padrões de circulação hidrodinâmica no reservatório de Moxotó

A circulação no reservatório depende basicamente das ações do vertedouro da Barragem de Itaparica e ventos, pois vazões fluviais são inexpressivas. São apresentados resultados promediados na coluna de água (2DH).

Os dados de vazões foram obtidos da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF, Diretoria de Operação, Divisão de Gestão de Recursos Hídricos – DORH, que variam de 800 a até 9.600 m³/segundo, de acordo com as necessidades de manejo hidráulico da empresa no sistema de reservatórios.

A Figura 6 demonstra o padrão de correntes médias na vertical (2DH), com ventos de SE em situação de estiagem, Fevereiro de 2008, no instante do dia 16 de Fevereiro de 2008 – 2:00 h. É representado na Figura 7 o mesmo padrão de correntes para Fevereiro de 2007, com ventos de S no instante do dia 17 as 14:00 h.

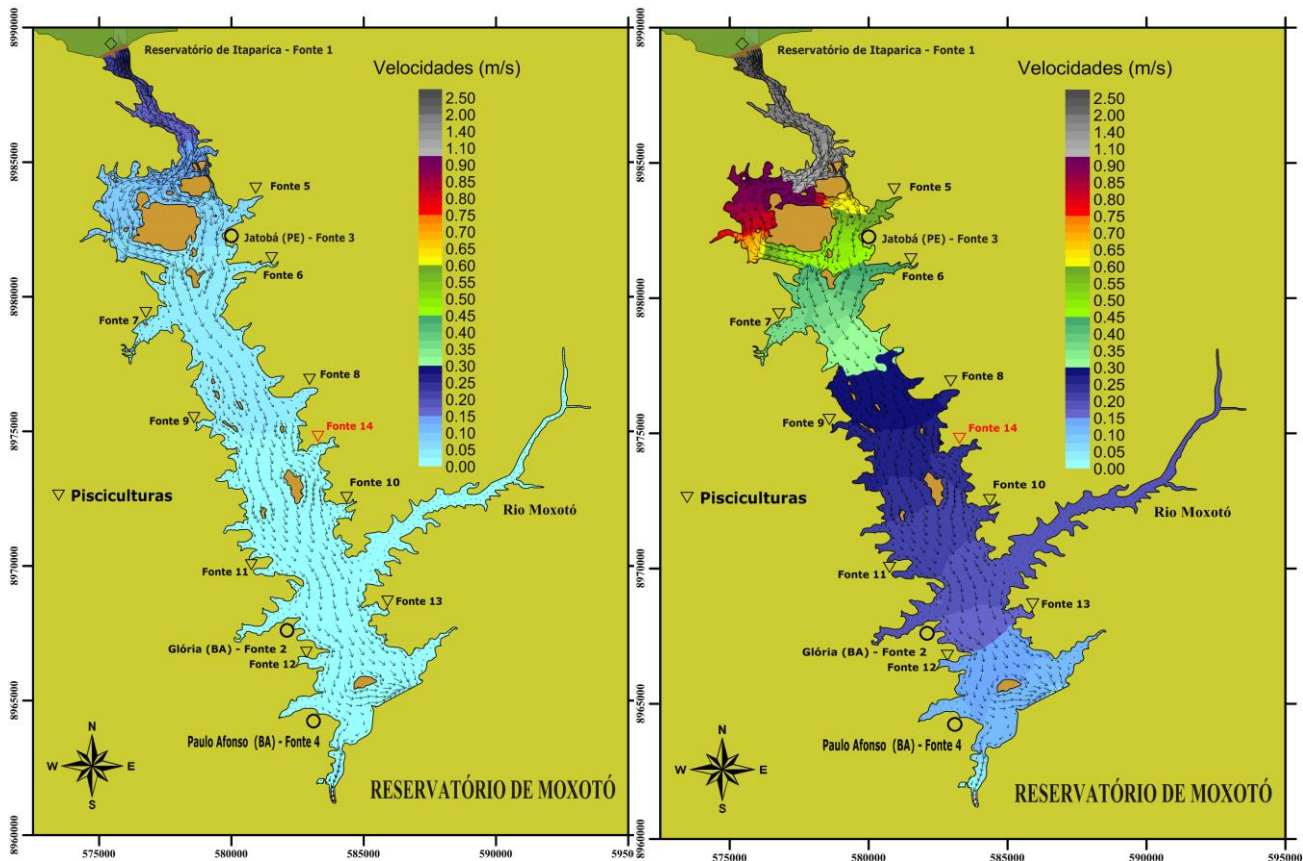


Figura 6. Fevereiro de 2008

Figura 7. Fevereiro de 2007

5.2. Caracterização das fontes poluidoras

Em geral, os diversos modelos utilizados avaliam a capacidade de suporte com base na concentração de fósforo admissível a ser adicionada no ambiente pelo empreendimento aquícola P_a . Para tal, admite-se uma concentração máxima admissível para o corpo de água, $P_{máx}$, que pode ser, por exemplo, o valor prescrito na Resolução CONAMA 357 para águas classe 2. Supondo que a

concentração de fósforo existente no corpo de água seja P_e , determina-se a quantidade de fósforo admissível a ser adicionada pelo empreendimento através da expressão:

$$P_a = P_{m\acute{a}x} - P_e$$

As características químicas da água influenciam diretamente sobre a eficiência do cultivo de peixes em gaiolas flutuantes, afetando diretamente a viabilidade econômica do cultivo, assim a escolha do local e o dimensionamento do cultivo conforme a capacidade da área em suportar a carga dos nutrientes oriundos da atividade, é de primordial importância para a sustentabilidade do cultivo.

Em geral o aporte de fósforo proveniente do cultivo de peixes é muito pequeno quando comparado ao aporte realizado pelos efluentes domésticos e industriais. Antes de implantar um empreendimento piscícola em gaiolas flutuantes, faz-se necessária a realização de um estudo sobre o teor de nutrientes no corpo d'água bem como fazer uma projeção para a quantidade máxima de nutrientes (principalmente fósforo) que poderá ser aportado pelo cultivo de forma a manter a qualidade da água em estado satisfatório para uma boa produtividade.

Considerando os procedimentos metodológicos citados, caracterizaremos a seguir as fontes poluidoras de fósforo total adotadas nas simulações para o reservatório de Moxotó. Adotamos fontes de cargas de fósforo total oriundas do reservatório de Itaparica, de pisciculturas instaladas e em processo de licenciamento e das principais cidades localizadas no entorno do reservatório, conforme tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Demonstrativo de cálculo das vazões inseridas no modelo lagrangeano do SisBAHIA para as Fontes definidas no reservatório de Moxotó.

Fonte	Região fonte			Carga de fósforo kg/dia	Densidade de P Kg/m3	Nº gaiolas	Vazão m3/s
	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)				
1	150	20	5	50.000	1.823		3.1745E-04
2	20	2	1	180	1.823		1.1428E-06
3	20	2	1	180	1.823		1.1428E-06
4	20	8	2	1.800	1.823		1.1428E-05
5	250	200	2	0,06	1.823	2000	7.6217E-07
6	250	250	2	0,06	1.823	2500	9.5216E-07
7	200	180	2	0,06	1.823	1440	5.4918E-07
8	250	120	2	0,06	1.823	1200	4.5710E-07
9	220	150	2	0,06	1.823	1320	5.0309E-07
10	300	200	2	0,06	1.823	2400	9.1408E-07
11	150	200	2	0,06	1.823	1200	4.5710E-07
12	120	140	2	0,06	1.823	672	2.5600E-07
13	150	150	2	0,06	1.823	900	3.4300E-07
14	350	200	2	0,06	1.823	2800	1.0700E-06

Formulações:

Numero de gaiolas = área total do empreendimento / área por gaiola (25 m²)

Vazão de Itaparica = carga de fósforo / densidade do fósforo / 86400

Vazão das Cidades = carga de fósforo / densidade do fósforo / 86400

Vazão das pisciculturas = carga de fósforo x N° gaiolas / densidade do fósforo / 86400

$T90 = 5147281.73$ segundos

6. Aplicações e resultados obtidos

Em relação à taxa de renovação no reservatório de Moxotó.

6.1. Taxa de renovação

Uma aplicação importante para avaliação de capacidade de suporte, é a taxa de renovação deste corpo hídrico em função das vazões estabelecidas. No caso do reservatório de Moxotó, com os hidrogramas utilizados para os meses de fevereiro de 2007 e 2008, as Figuras 8 e 9 a seguir, demonstram as taxas de renovação obtidas em 28 dias de simulação.

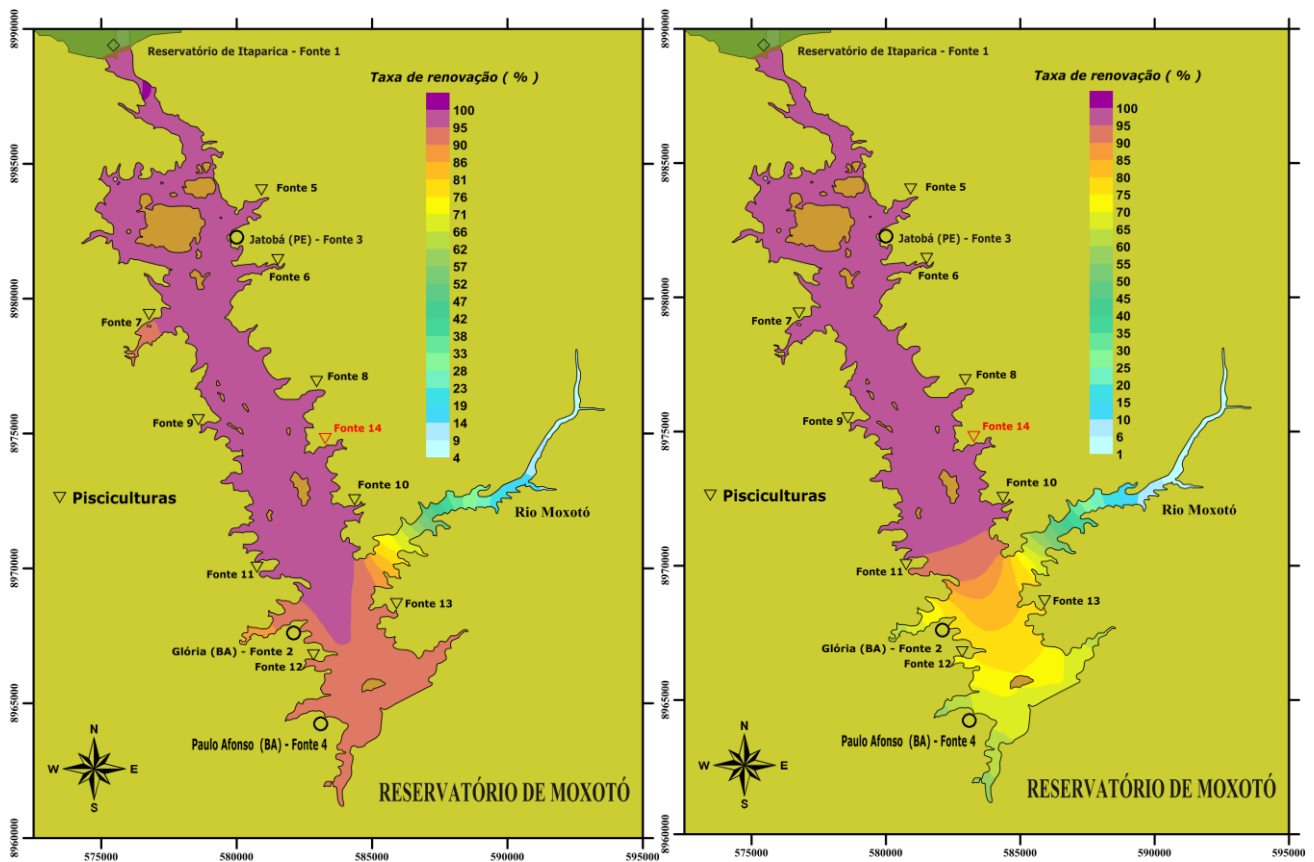


Figura 8. Representação para Fevereiro de 2007

Figura 9. Fevereiro de 2008.

Para verificação da metodologia proposta, as figuras 10 e 11 a seguir, ilustram os valores das isolinhas de concentração de fósforo total em mg/l, em função das vazões estimadas em m^3/s lançadas no reservatório de Moxotó, provenientes do Reservatório de Itaparica e das cidades de Paulo Afonso e Glória no estado da Bahia, e Jatobá, em Pernambuco, para os meses de fevereiro de 2007 e 2008 em 28 dias de simulação, levando em consideração as vazões estimadas das pisciculturas instaladas e em processo de licenciamento.

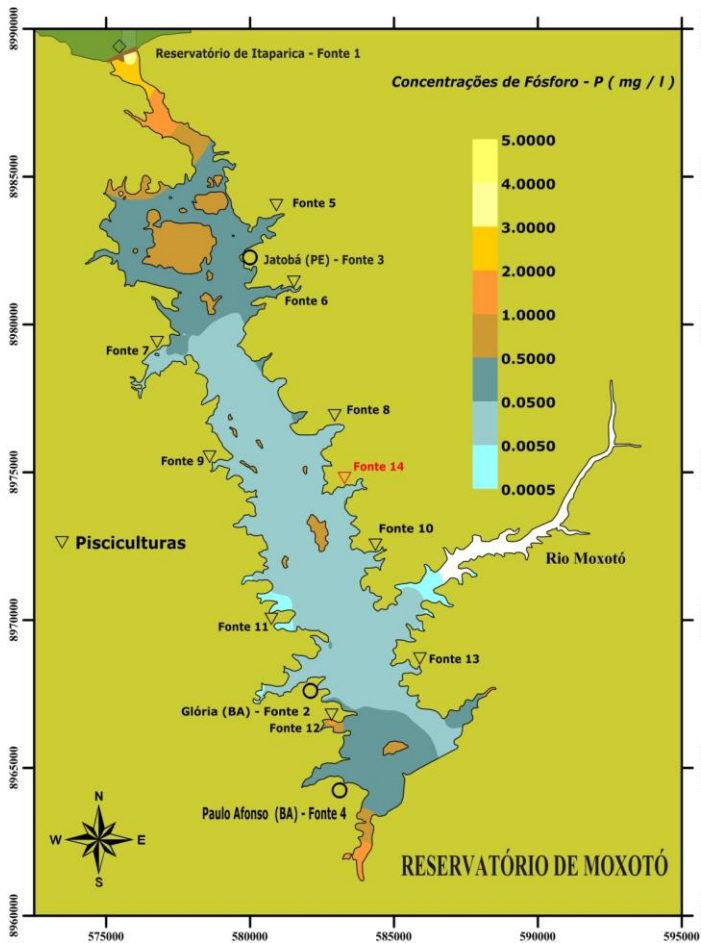


Figura 10. Isolinas em fevereiro de 2007.

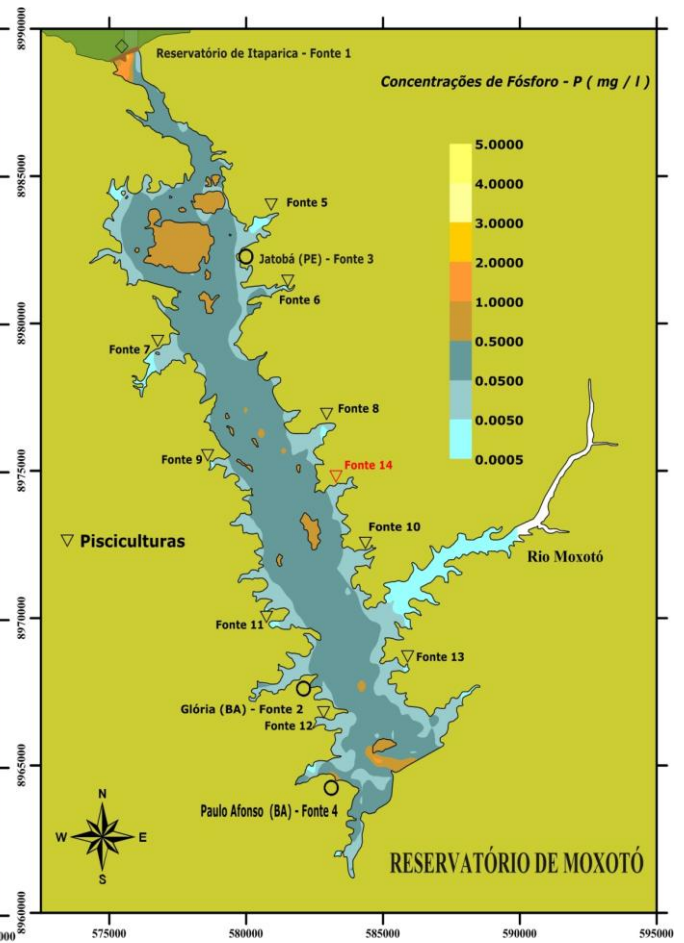


Figura 11. Fevereiro de 2008 – estiagem.

7. Considerações finais

Em relação à gestão eco sustentável de empreendimentos aquícolas em reservatórios, a aquicultura intensiva nestes corpos hídricos deve ser conduzida de forma planejada e gerenciada com critérios técnicos, científicos, econômicos e ecológicos. Esta gestão deve ser balizada, inicialmente, a partir da escolha do local adequado para a implantação do empreendimento e pelas diretrizes legais. A eficiência do planejamento técnico e, conseqüentemente, os níveis de eco produtividade alcançados, vão depender principalmente do manejo da criação, garantindo o desenvolvimento sustentável da atividade e o uso múltiplo do recurso hídrico.

Monitoramentos periódicos e pesquisas limnológicas básicas são de fundamental importância. Esses levantamentos devem visar, principalmente, o estudo da estrutura de produção, função e padrão de variação dos principais parâmetros ambientais que têm influência direta sobre a dinâmica do sistema e que possam ser afetados após a implantação das unidades de cultivo, através de seus resíduos e metabólitos.

A metodologia proposta tem como base o estudo aprofundado da hidrodinâmica do corpo hídrico para a avaliação de capacidade de suporte para empreendimentos aquícolas. Sabe-se que a hidrodinâmica de um reservatório é suscetível a procedimentos operacionais de regularização de vazões, dependendo das demandas energéticas ou por aspectos pluviométricos.

Tais mudanças podem interferir no processo advectivo - difusivo do contaminante onde estão as pisciculturas, ou seja, o modelo pode avaliar localmente o dendrito onde uma piscicultura pode estar instalada ou um processo de liberação de outorga, podendo tal modelo simular estas ocorrências e sua influência no processo em estudo.

Levando em consideração que modelos computacionais podem contribuir com prognósticos para uma gestão ambiental mais eficiente, recomenda-se que sejam desenvolvidas alternativas para implantação de estações limnológicas em reservatórios, aferindo dados em tempo real e alimentando modelos computacionais para avaliações seguras, objetivando a sustentabilidade da atividade que se apresenta economicamente fundamental para a produção de pescado de alta qualidade no país.

A metodologia proposta, utilizando-se do modelo computacional, pode quantificar com mais precisão, via modelo de qualidade de água, o quantitativo de gaiolas que podem ser instaladas, em função da carga total de fósforo da piscicultura introduzida no ambiente em função do arraçoamento e das fezes excretadas pelos peixes nas diversas fases de engorda, dentro de um realismo operacional de produção, podendo inclusive recomendar procedimentos operacionais de produção, objetivando a manutenção qualitativa dos índices limnológicos do recurso aquático.

8. Referencias bibliográficas

BEVERIDGE, M.C.M. 2004. **Cage aquaculture**. *Fishing News Books* 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 368p.

HAAKANSONEN ET AL., L.; ERVIK, A.; MAKINEN, T.; MOLLER, B. 1988. **Basic concepts concerning assessment of environmental effects of marine fish farms**. Copenhagen: Nordic Council of Ministers.

ONO, E. A.; KUBITZA, F. 2003. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3ªed. Jundiaí: 112p.

ORSI, M.L.; AGOSTINHO, A.A. 1999. **Introdução de espécies por escapos acidentais de tanques de cultivos em rios da bacia do rio Paraná**. Brasil. Revista Brasileira de Zoologia, v. 16; p. 557-560.

PÉREZ, J. 1996. **La acuicultura y la conservación de la biodiversid**. *Interciencia*, v.21, n.3, p.151-157.

ROSMAN, P. C. C. (Ed.) 2011. **Referência Técnica do SisBaHiA®**, disponível em www.sisbahia.coppe.ufrj.br, acesso em 10 de setembro de 2011.

VALLADÃO, André Luiz Ribeiro. 1999. **Simulação numérica dos despejos desordenados de esgotos na Baía de Sepetiba e os efeitos sobre a balneabilidade**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, Dissertação de Mestrado.

ZANIBONI, E. F.; NUNER, A.P. O.; GUERESCHI, R.M.; SILVA, S.H. 2005. **Cultivo de peixes em tanques-rede e impactos ambientais**. Anais: Cultivo de Peixes em tanques-rede: desafios e oportunidades para um desenvolvimento sustentável. Belo Horizonte: EPAMIG, p.104.