



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

Simulação da Dispersão de Óleo na Bacia de Santos

Soares, I.D.¹, Alves, F., N.², Piovesan, R.³

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Depto de Física,
Av. Itália km 8, CEP 96201-900, Rio Grande, RS, e-mail dfsivan@furg.br

² Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Depto de Física,
Av. Itália km 8, CEP 96201-900, Rio Grande, RS, e-mail fernandonaa@gmail.com

³ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Depto de Física,
Av. Itália km 8, CEP 96201-900, Rio Grande, RS, e-mail ocerbip@furg.br

Resumo – Simulações numéricas da hidrodinâmica e da dispersão de óleo na Bacia de Santos foram realizadas com o modelo da Universidade de Princeton (POM) e com um modelo de óleo que está sendo desenvolvido no Laboratório de Modelagem numérica da FURG. O modelo em desenvolvimento é um modelo do tipo misto, lagrangiano-euleriano, que leva em consideração os processos de espalhamento gravitacional, advecção-difusão, degradação bacteriana, evaporação, entranhamento, emulsificação e transporte por correntes e vento. A parte de transporte por corrente e vento é tratada de forma lagrangiana, como transporte de partículas, e os outros processos são tratados de forma euleriana, em um modelo baseado na equação da advecção-difusão. Resultados de uma simulação de 1 mês realizada na Bacia de Santos são apresentados. Nessa simulação o modelo hidrodinâmico foi forçado com maré, vento e a corrente do Brasil.

Palavras-Chave: petróleo; modelo numérico; Bacia de Santos

Abstract – A numerical simulation of oil spills in the South Brazilian Bight is presented. The study was conducted with the Princeton Ocean Model (POM) and an oil model which is being developed in the Numerical Model Laboratory of FURG. The oil model which is under construction is partially lagrangian and partially eulerian, and takes into consideration the following processes: spreading, advection, diffusion, entrainment, evaporation, emulsification, consumption by bacteria and transport by ocean currents and wind. The transport is computed by the lagrangian mode, which treats the particulate portion of the oil as particles, and the other processes are computed in the eulerian mode, using the advection-diffusion equation. The results of a one-month simulation are presented. The hydrodynamic model was forced with tides, variable winds and the Brazil Current.

Keywords: petroleum, numerical model, Santos Bay

1.Introdução

Graças a crescente demanda por petróleo no país e no mundo a atividade petrolífera na Bacia de Santos vem apresentando nos últimos anos um aumento gradual e contínuo, que se caracteriza como um aumento generalizado do número de áreas que são leiloadas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) para exploração e produção de petróleo. Recentemente a ANP realizou a Rodada 6 de leilões de áreas, e prepara-se no momento para realizar a Rodada 7. Muitas das áreas leiloadas localizam-se em águas profundas na Bacia de Santos. Algumas dessas áreas são apresentadas na figura 1. Com o aumento das atividades de exploração e produção, cresce também a atividade de transporte de óleo por navios petroleiros, aumentando portanto o risco de acidentes tanto na etapa de exploração como de transporte do petróleo. Faz-se necessário portanto a disponibilidade de um sistema rápido, seguro e efetivo para combate aos acidentes que resultam em derrame de óleo na água mar. Tal sistema deve evitar que áreas de interesse ecológico, turístico e comercial sejam atingidas pelo óleo derramado. Para tal é necessário que se faça a previsão da deriva do óleo na água e das áreas de risco potencial, ou seja, aquelas que possivelmente seriam atingidas caso o óleo fosse deixado à deriva sem o devido tratamento. Uma ferramenta de grande uso e que permite tal previsão é composta pelo uso acoplado de modelos hidrodinâmicos e modelos de cálculo da deriva de óleo. Com base em previsões de vento, os modelos hidrodinâmicos podem fornecer previsões de corrente que são utilizadas para prever a dispersão de manchas de óleo no ambiente marinho, e assim facilitar a elaboração de um plano de combate a uma mancha de óleo à deriva.

Diversos modelos de óleo foram propostos até hoje, e esses variam desde modelos simples para simulação de trajetórias de partículas até modelos tri dimensionais bastante complexos, que levam em consideração vários processos que corroboram para o espalhamento do óleo. Sebastião & Soares (1995), propuseram um modelo numérico que considera, além do processo de transporte por correntes e ventos, os processos de espalhamento gravitacional, evaporação, emulsificação e entranhamento. Alguns autores propuseram modelos que se baseiam no método de Monte Carlo para fazer a trajetória de partículas (Spauling, 1988; Proctor et al, 1994). Nesse método cada partícula, ou grupo de partículas, representa uma fração da mancha, e seu movimento tri dimensional é simulado. Korotenko (2001) propôs um modelo de óleo que utiliza as velocidades computadas pelo modelo hidrodinâmico da Universidade de Princeton (Princeton Ocean Model – POM), para calcular a dispersão de manchas de óleo.

O modelo aqui proposto também faz uso de velocidades calculadas pelo POM e caracteriza-se por ser um modelo híbrido, que faz tanto a dispersão lagrangiana (transporte de partículas), como a dispersão euleriana, que calcula dispersão da porção dissolvida do óleo. O modelo está em fase de implementação e um exemplo de aplicação para um acidente teórico ocorrido na Bacia de Santos é apresentado.

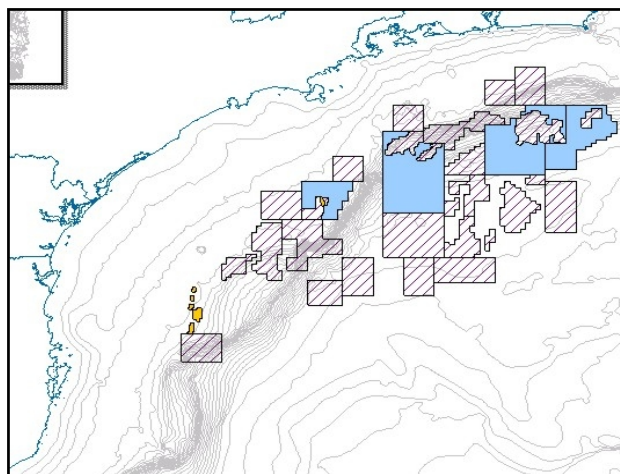


Figura 1 – Áreas de exploração de Petróleo na Bacia de Santos. Fonte: www.anp.gov.br

1.1Objetivo

Implementar um modelo numérico para cálculo de dispersão de manchas de óleo na Bacia de Santos, que leve em consideração correntes geradas por vento, marés, e gradientes termohalinos, e os processos de espalhamento gravitacional, difusão turbulenta, evaporação, degradação bacteriana, emulsificação e entranhamento.

1.2 Área de estudo

A área estudada é a Bacia de Santos, a qual é definida como a porção oceânica limitada pelo Cabo de São Tomé (lat. 22.1 S e long. 41 W), ao norte, e o Cabo de Santa Marta (lat. 28.55 S e long. 48.47 W), ao sul. A topografia da área é apresentada na figura 2. A área modelada estende-se desde a linha de costa até a isóbata de 4.000 m. Nessa figura as áreas mais rasas que 500 m aparecem em azul. A maior parte das áreas leiloadas encontram-se em águas profundas (profundidade superior a 500 m).

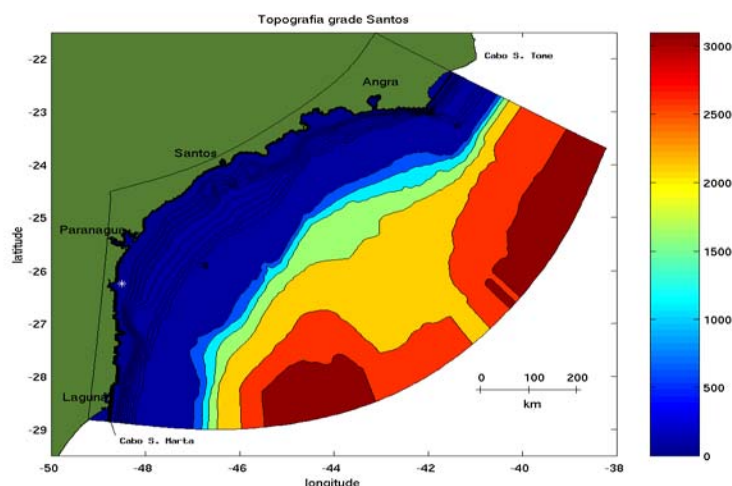


Figura 2 – Topografia da Área de Estudo

1.3 Importância do Estudo

A Bacia de Santos é atualmente a segunda área oceânica mais produtiva depois da Bacia de Campos, em termos de produção de petróleo. Os leilões de áreas da ANP demonstram que a atividade de exploração nessa Bacia tende a crescer. Paralelamente, crescem as probabilidades de acidentes com derrames e os conflitos com as atividades de pesca comercial, atividades turísticas e os riscos para áreas de conservação ambiental. O modelo proposto permite a simulação da deriva de manchas de óleo, e a previsão de quais áreas seriam atingidas em casos de acidentes. Simulações dessa natureza tem sido usadas atualmente para o licenciamento ambiental das atividades de exploração e produção no Brasil, porém com modelos internacionais, de uso restrito. O estudo aqui proposto tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo nacional para cálculo de deriva de manchas de óleo, que possa ser usado nas instituições federais brasileiras. Apesar de estar sendo aplicado na Bacia de Santos, o mesmo tem potencial para ser aplicado em todas as áreas oceânicas onde existe atividade de exploração de petróleo.

2. Metodologia

O estudo baseia-se em uma modelagem numérica da dispersão de óleo, a qual está sendo feita através da introdução de um módulo de óleo em um modelo hidrodinâmico que já se encontra adaptado e funcional para a Bacia de Santos.

2.1 Modelo Hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico em uso é o modelo da Universidade Princeton (POM), o qual é um modelo numérico tri-dimensional construído a partir das equações primitivas do movimento, e equações para conservação da massa, de sal, calor e energia cinética turbulenta. Duas características básicas desse modelo que o tornam adequado para o estudo proposto são: o uso de coordenada sigma na vertical, e o uso de um sub-modelo de fechamento turbulento para cálculo de coeficientes variáveis de viscosidade turbulenta. A coordenada sigma substitui a coordenada cartesiana vertical tradicional, e funciona como uma porcentagem da coluna, de modo que a grade numérica apresenta o mesmo número de camadas em qualquer profundidade, permitindo boa representação tanto de águas rasas como de águas profundas. O

esquema de fechamento turbulento baseia-se na equação para conservação de energia cinética turbulenta, para calcular coeficientes de viscosidade turbulentos, que variam com a dinâmica do meio. Tais características, permitem boa representação das camadas de Ekman de fundo e superfície em todo o domínio modelado. Maiores detalhes sobre o modelo podem ser obtidos no site do modelo: <http://www.aos.princeton.edu>.

A grade numérica elaborada para o estudo na Bacia de Santos é apresentada na figura 3. A grade é do tipo curvilinear, e apresenta maior resolução espacial nas proximidades da costa. Nessa figura são apresentados de 3 em 3 pontos, para facilitar a visualização. O tamanho dos elementos varia entre aproximadamente 2,5 km x 2,5 km nas regiões costeiras, até 9 km x 9 km nas regiões profundas.

Um experimento de 1 mês (720 horas) foi realizado com o modelo hidrodinâmico, tendo como forçantes a maré, o vento, e a corrente do Brasil. O vento foi forçado na superfície, como stress. Utilizou-se vento variável, com intervalo de amostragem de 1 hora. Para a maré, utilizou-se as 5 principais constituintes harmônicas (M2, S2, N2, O1 e K1) cujas amplitudes e fases foram obtidas do modelo global FES95.2, da Universidade de Grenoble, França (LeProvost, 1994). A corrente do Brasil foi forçada nos contornos abertos da grade, através de campos de salinidade e temperatura que reproduzem a componente baroclinica dessa corrente. Os campos de salinidade e temperatura foram obtidos do modelo global OCCAM (DeCuevas).

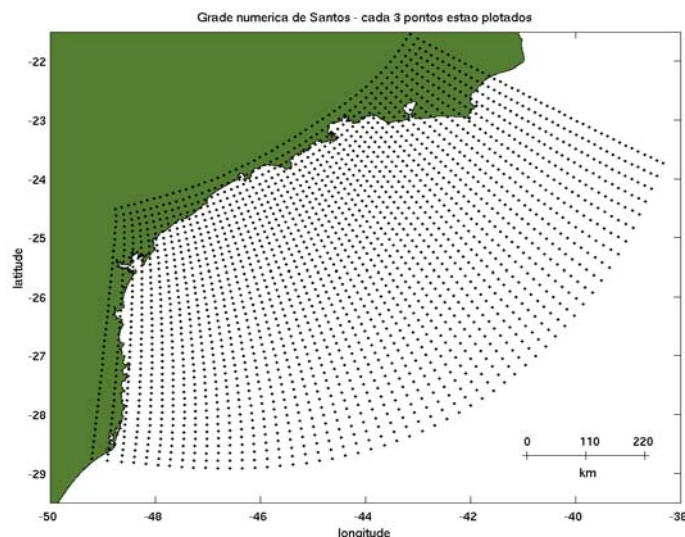


Figura 3 - Grade Numérica

2.2 Modelo de Óleo

O modelo de óleo foi construído como um módulo dentro do modelo POM. Duas possibilidades de derrames são consideradas, na primeira trata-se o derrame como uma fonte pontual e instantânea de óleo, e na segunda como uma fonte contínua que introduz uma certa quantidade de óleo durante todo o tempo da simulação. O modelo trata uma parte do óleo derramado de forma lagrangiana, e outra de forma euleriana, sendo portanto um modelo do tipo misto. O módulo lagrangiano trata da parte particulada do óleo, e o módulo euleriano trata da parte dissolvida do óleo. Sabe-se que uma certa porção do óleo comporta-se como partícula, enquanto que outra comporta-se como substância dissolvida na água. A proporção entre as duas porções depende do tipo de óleo derramado. No experimento aqui apresentado foi utilizada uma proporção de 70 % particulada e 30 % dissolvida. No módulo lagrangiano, o modelo leva em consideração além da quantidade de óleo derramado um certo número de partículas, que é definido pelo usuário. A cada partícula é associada uma concentração, de modo que a dispersão do óleo é feita tanto lagrangianamente, como eulerianamente, na forma de concentração de óleo. No módulo euleriano, a porção dissolvida do óleo é tratada como uma substância passiva, que é tanto advectada como difundida pelo meio. Utiliza-se a equação da advecção-difusão horizontal, e os processos euleriano são resolvidos apenas na capa superficial do oceano.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

Nessa equação, C é a concentração do óleo dissolvido, U e V são as componentes da velocidade superficial da água nas direções x e y , e K_x e K_y são os coeficientes de difusão turbulenta. Tanto as velocidades U e V , como os coeficientes K_x e K_y são calculados pelo módulo hidrodinâmico, no POM.

Além do transporte, calculado pelo módulo lagrangiano, como pela advecção-difusão calculada pelo módulo euleriano, o modelo de óleo leva em consideração os processos de espalhamento, evaporação, entranhamento, emulsificação e degradação bacteriana. O processo de espalhamento atua como um espalhamento por gravidade, que é ativo nas primeiras horas da dispersão da mancha. Nesse modelo utiliza-se um espalhamento Gaussiano que atua durante um tempo definido pelo usuário. Após o espalhamento gaussiano, começa a atuar a equação da advecção-difusão do modo euleriano. Os processos de evaporação e degradação bacteriana são implementados como termos extras na equação da advecção-difusão, e colaboram com um decaimento exponencial da concentração do óleo, sendo o tempo de decaimento definido pelo usuário. O tempo de decaimento por evaporação depende do tipo de óleo. Por fim os processos de emulsificação e entranhamento ocorrem devido à ação de movimentos turbulentos e ondas, e resultam no aprofundamento das partículas de óleo, as quais deixam de ocupar a superfície da água e passam a ocupar uma lâmina d'água de uma certa espessura, também definida pelo usuário. Na elaboração dos resultados aqui apresentados foram considerados apenas os processos de espalhamento, advecção-difusão e transporte lagrangiano. Os outros processos encontram-se em fase de implementação.

3.Resultados

Os resultados produzidos pelo modelo hidrodinâmico são apresentados na figura 4. Nessa figura são apresentados o campo de temperatura superficial e os vetores de velocidade superficial correspondentes a hora 600 da simulação com o modelo POM. Nota-se a presença de uma Corrente direcionada para sul na quebra da plataforma (Corrente do Brasil), a qual apresenta diversas feições de meso-escala, como um vórtice ciclônico na porção norte do domínio. Na porção rasa do domínio nota-se a presença de águas relativamente mais frias, enquanto que na porção mais profunda, onde encontra-se a corrente do Brasil, nota-se a presença de águas mais quentes. No canto superior esquerdo da figura é apresentado um vetor de vento medido no ponto central da grade numérica. No momento apresentado, o vento encontrava-se direcionado para sudoeste.

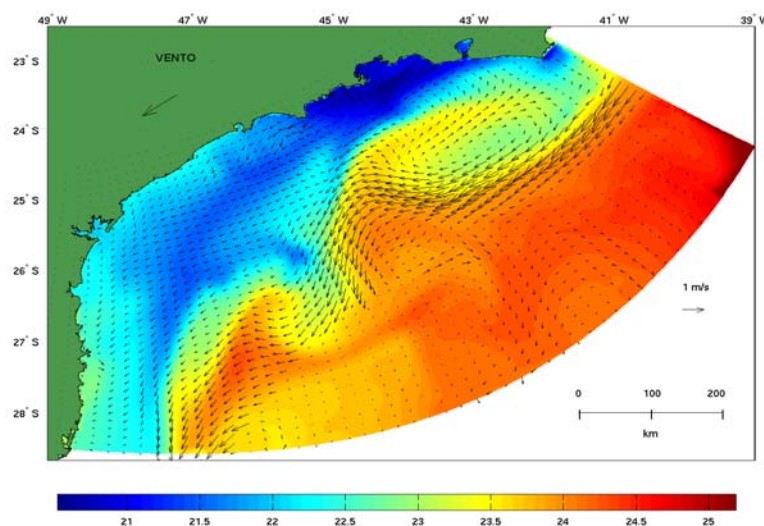


Figura 4 - Campo de temperatura e velocidades superficiais calculados pelo modelo POM depois de 600 horas de integração.

Na figura seguinte (fig. 5) é apresentada a mancha de óleo resultante da deriva de um derrame contínuo, introduzido no ponto de coordenadas 45 W e 25 S. Utilizou-se um derrame do tipo contínuo, que introduz 500 toneladas de óleo por

hora, e 10 partículas por horas. 70 % do óleo foi tratado de forma particulada e 30 % de forma dissolvida, sendo que durante as 12 primeiras horas a deriva da mancha foi feita apenas pelo processo de espalhamento Gaussiano.

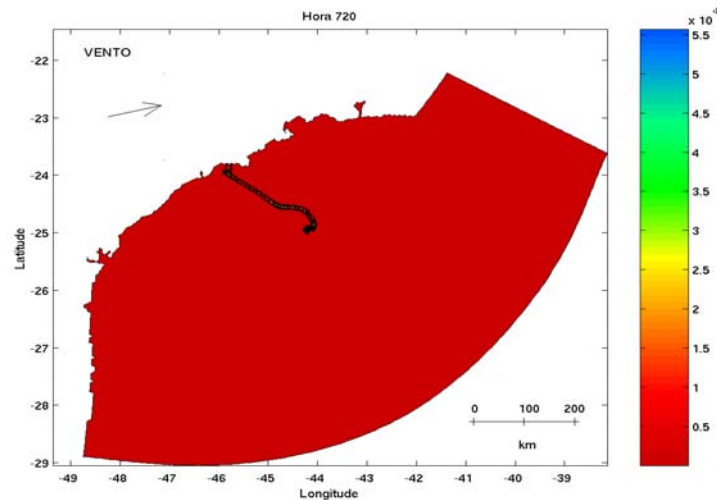


Figura 5 - Mancha de óleo produzida durante as 720 horas de integração do modelo.

Nota-se que o óleo primeiro derivou para norte e depois voltou-se para oeste e atingiu a costa. Basicamente isso ocorreu por causa do vento, o qual, nos primeiros momentos da simulação estava direcionado para nordeste e depois mudou para sudoeste. Na figura 5b apresenta-se a área central da figura 5 de modo expandido, para melhorar a visualização da mancha de óleo.

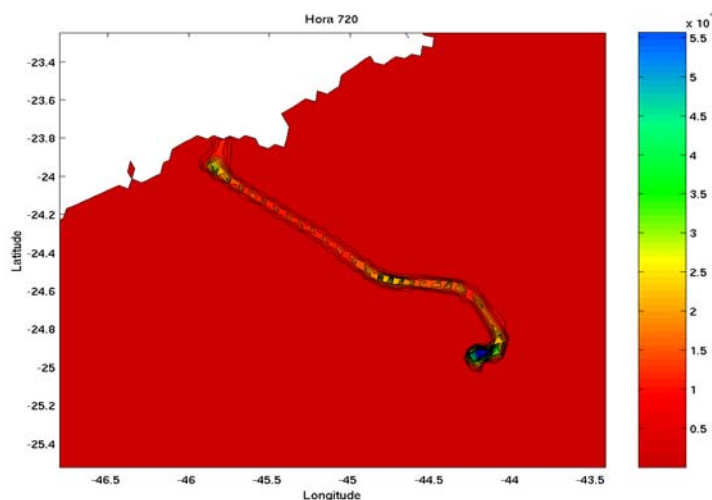


Figura 5b – Zoom da mancha de óleo produzida durante as 720 horas de integração do modelo.

4. Discussão e Conclusão

Os resultados mostram que a região costeira do estado de São Paulo está sujeita a derrames que venham a ocorrer em áreas bastante afastadas da costa. No entanto, a mancha produzida no modelo de óleo demonstra que o modo de transporte lagrangiano domina o processo de dispersão da mancha, o que nem sempre é verdade. Manchas observadas no oceano, em geral apresentam maior espalhamento. Espera-se que com a introdução dos processos de entranhamento e emulsificação, a dispersão da mancha pelos processos de advecção-difusão do modo euleriano passem a ter maior contribuição, pois através do entranhamento a mancha passará a ser advectada em uma camada mais espessa da



superfície, respondendo mais ao processo de advecção pelas correntes oceânicas. Assim a mancha deverá espalhar-se mais, e atingir uma área maior, porém não tão alongada.

5.Referências

- KOROTENKO, K. A., MAMEDOV, R. M. Modeling of Oil Slick transport process in coastal zone os the Caspian Sea. *Caspian Sea*, vol. 1, p. 197-211, 2001.
- KOROTENKO, K. A., MAMEDOV, R. M., MOERS,C.,N.,K.. *Prediction of the Dispersal of Oil Transport in the Caspian Sea Resulting from a Continuos Release*, Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 6, No. 5/6, p. 323-339, 2000.
- PROCTOR, R. , FLATHER, R.A., ELLIOT, A.J.. *Modeling tides and surface drift in the Arabian Gulf-aplication to the Gulf Spill*. Cont. Shelf Res., vol 15, No. 5, p. 531-545, 1994.
- SEBASTIÃO,P., SOARES, C. *Modeling the Fate of Oil Spill at Sea*. Spill Science & Technology, vol 2, No. 2/3, p. 121-131, 1996.
- SPAULING,M.L. A state-of-art review of oil spill trajectory and fate modelling. Oil Chem. Poll., vol. 4, p. 39-55, 1988.