

Efeitos do óleo nas folhas de mangue¹

Fabíola de Oliveira Rodrigues⁽²⁾
Débora Orgler de Moura⁽²⁾
Cláudia Condé Lamparelli⁽³⁾

RESUMO Neste trabalho realizado em áreas de manguezal da Baixada Santista do litoral do Estado São Paulo, foram estudados os efeitos do petróleo em *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. schaueriana* durante um período de quatro anos. Inicialmente, observou-se uma acentuada desfolhação e, a longo prazo, foi constatado um aumento da superfície foliar e uma diminuição da porcentagem de pastejo para as três espécies. Além disso, foram feitas observações sobre o aspecto das folhas, tais como: alterações de pigmentação, textura e forma.

O estudo das alterações morfológicas ocorridas como resposta a derramamentos de óleo se constitui em importante instrumento para a compreensão dos efeitos de um tensor sobre o ecossistema, o que contribui para a implementação de uma metodologia prática de avaliação de impacto baseada em padrões ambientais.

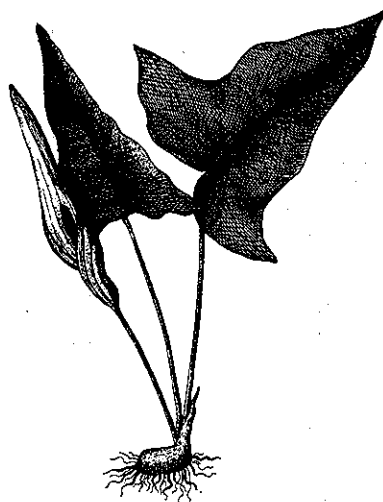
Palavra-chave: derramamento de óleo, manguezal, impacto ambiental, estuário, ecossistema e Baixada Santista.

ABSTRACT The effects of oil on *R. mangle*, *L. racemosa* and *A. schaueriana* at Baixada Santista, on the coast of the state of São Paulo (Brazil) were studied during a four year period. The results showed a high defoliation rate, an increase of leaf area and a reduction of grazing percentage for the three species. Furthermore, other aspects concerning leaf appearance as color alterations, texture and shape were also observed.

It is very important to study the morphological alterations that occur in mangroves in response to oil spills, in order to bring the understanding of how the oil affects the ecosystem and so contribute to the implementation of impact evaluation methodology based on environmental standards.

Key words: oil spill, mangroves, environmental impact, estuary, ecosystem, Baixada Santista.

Dentre as inúmeras fontes de poluição relacionadas aos portos e terminais marítimos que contribuem para a degradação da Baixada Santista, destacam-se os derramamentos de petróleo. Em 14 de outubro de 1983, aproximadamente 2.500 toneladas de petróleo foram lançadas no Canal da Bertioiga, através do rio Iriri, devido ao rompimento do oleoduto da Petrobrás (Cetesb, 1983).



Pela quantidade de petróleo derramado e extensão da área atingida, este acidente caracterizou-se como o maior derramamento já verificado no litoral brasileiro, atingindo uma superfície de 100km² na zona costeira, vindo a se constituir no primeiro processo judicial brasileiro por danos ambientais (Schaeffer-Novelli, 1986). A região é ocupada por extensas áreas de manguezal que foram seriamente afetadas e que são consideradas áreas de preservação ambiental permanente pelo seu grande valor ecológico, além de constituírem fonte importantíssima de alimento para a zona costeira. Admite-se que 90% dos peixes marinhos consumidos pelo homem são provenientes de zonas costeiras e, destes, cerca de dois terços dependem direta ou indiretamente dos estuários e mangues (Branco & Rocha, 1980).

Segundo Gundlach & Hayes (1978), o manguezal é considerado o mais sensível dentre os ecossistemas costeiros e, portanto, o de maior vulnerabilidade aos efeitos decorrentes de derramamentos de óleo. Além disso, é importante ressaltar também que não existem técnicas que

(1) Trabalho executado com apoio da Organização dos Estados Americanos, através do "Programas Regionales de Desarrollo Educativo, Científico y Tecnológico y Cultural de la OEA (PRDCYT)", "Projeto: Levantamento de subsídios e instrumentação para o gerenciamento de áreas costeiras ecologicamente sensíveis.

(2) Biólogas da Cetesb

(3) Bióloga da Cetesb, Mestre em Ecologia.

permitam limpar ou remover completamente o petróleo dos manguezais. Deste modo, constantes episódios de contaminação de águas litorâneas por petróleo e derivados, geralmente de grande intensidade, exigem um claro conhecimento dos impactos provocados pelo óleo em áreas de manguezal, para prevenção e avaliação de futuros eventos.

Segundo Lugo (1987), é importante estudar áreas de manguezal impactadas com o mesmo interesse com o qual se estuda manguezais sem alterações; pois isto contribui para o entendimento dos limites de intervenção humana nestes sistemas, além de se compreender como um tensor afeta a resposta do sistema a outro tensor.

A literatura referente a derramamentos de óleo em áreas de manguezal, na sua maioria, é constituída por relatos de impactos agudos resultantes do evento (Snedaker, 1985), e cita apenas metodologias empregadas na avaliação desse tipo de impacto. Além disso, são poucos os trabalhos que trazem referência a uma metodologia adequada para se documentar o impacto crônico.

Assim sendo, procurou-se, neste trabalho, desenvolver um acompanhamento que preenchesse essas necessidades, registrando não apenas os efeitos imediatos decorrentes do impacto, como também aquelas modificações do ecossistema que demandam um período de tempo mais longo para se manifestar.

A resposta normal dos manguezais expostos à cobertura por petróleo parece ser a rápida queda das folhas, bem como a conseqüente susceptibilidade das novas folhas a deformações, redução no tamanho, verificando-se também um maior ataque por insetos (Lugo et alii, 1980).

Foi demonstrado que os primeiros mecanismos de toxicidade estão relacionados com a entrada do óleo pelas raízes, sendo transportado para o caule e folhas durante o processo de transpiração (Getter et alii, 1985). Deste modo, o estado das folhas constitui um indicador sensível à condição de tensão ou "estresse" em que se encontra o manguezal. Portanto, uma análise cuidadosa das folhas das espécies de mangue, após um derramamento de óleo, revela uma série de sintomas relacionados com os efeitos desse poluente sobre o ecossistema. Outra variável que pode ser medida nas folhas é a porcentagem de pastejo, ou herbivoria, que também reflete as condições ambientais do ecossistema.

Nesse sentido, foram propostos como objetivos: fazer um acompanhamento a longo prazo da evolução dos efeitos agudos e crônicos do óleo sobre o mangue, registrando as alterações foliares provocadas pelo impacto; desenvolver uma metodologia adequada para o monitoramento e avaliação desse tipo de impacto ambiental, aprimorando e elaborando técnicas metodológicas para a obtenção dos dados relativos a impactos em manguezais; selecionar, dentre as variáveis acompanhadas, as mais apropriadas como indicadores de avaliação da qualidade ambiental.

Cabe ressaltar que, com o intuito de aprofundar melhor a discussão, este artigo analisa apenas os dados relativos às alterações foliares que constituem parte de um estudo mais abrangente onde foram avaliados outros parâmetros relacionados à estrutura do bosque (Cetesb, 1989).

Metodologia

O acompanhamento teve duração de quatro anos, realizando-se no período de fevereiro de 1984 a agosto de 1987. Em função do desconhecimento inicial da velocidade

de ocorrência das possíveis alterações, a periodicidade dos trabalhos de campo foi sendo alterada no decorrer do estudo, passando de mensal, no primeiro ano, para sazonal no biênio de 1985-86, e semestral em 1987.

Para a escolha das estações de amostragem, levou-se em consideração a sua localização com relação à fonte poluidora e circulação de água, já que este é um fator de grande importância para a permanência do contaminante no ambiente. A estação 1, denominada Caiubura, situa-se no Canal da Bertioga a jusante da desembocadura do rio Iriri, onde se encontra a estação 2, que leva o mesmo nome do rio. Deste modo, a estação 2 está localizada mais próxima ao local do rompimento do oleoduto. Além disso, a estação Caiubura está mais sujeita às variações de maré, apresentando um maior fluxo de água no interior do bosque. Já a estação 3, Largo do Candinho, encontra-se à margem direita do rio que desemboca no Largo do Candinho e não tendo sido atingida por esse derramamento foi selecionada como controle (Fig. 1).

Durante as amostragens, foram coletadas, de forma aleatória, 50 folhas verdes expostas ao sol e 50 folhas senescentes das três espécies de mangue (*Rizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*). Para as folhas verdes, obteve-se medidas do comprimento e largura e das senescentes, área foliar e porcentagem de pastejo. Para cada uma destas variáveis, foram calculadas as médias e o desvio padrão para cada estação (Schaeffer-Novelli & Cintrón, 1986).

Considerando o objetivo deste estudo e o fato de que os dados obtidos constituem uma Série Temporal Discreta, calculou-se as médias móveis associadas a cada uma destas séries e construiu-se as respectivas curvas de tendência, com o propósito de visualizar melhor as alterações ocorridas nos bosques e elaborar-se hipóteses quanto à tendência temporal observada. Estas curvas constam em Cetesb (1989) sendo que um exemplo é apresentado na Figura 2.

O emprego da análise estatística cuja metodologia foi descrita por Box & Jenkins (in Morettin & Toloi, 1981) teve como objetivo confirmar as tendências observadas nas curvas das médias móveis, possibilitando também a comparação entre as alterações constatadas para os diversos parâmetros para as três estações.

É importante ressaltar que, ao se comparar os dados de largura e comprimento (folhas verdes) com os de área foliar (folhas senescentes), está se fazendo uma comparação entre duas populações distintas de folhas. No entanto, considerou-se possível compará-las, já que esta separação é apenas temporal.

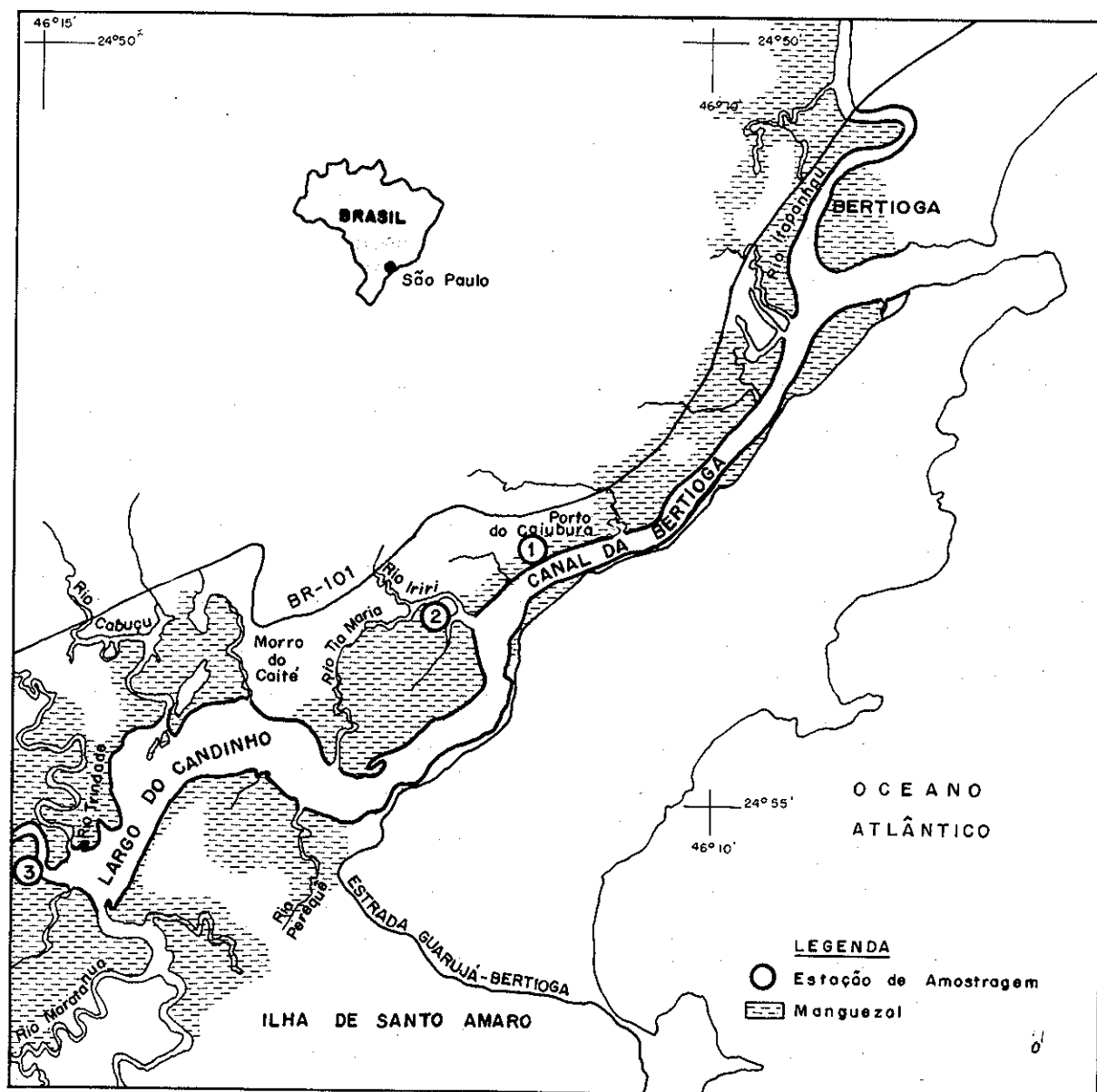
Resultados

As médias anuais dos dados relativos às modificações foliares quantitativas e a herbivoria das três espécies de mangue nas diferentes estações encontram-se nas tabelas 1, 2 e 3.

Além da apresentação dos dados em forma de tabela, relata-se a seguir a descrição da evolução das alterações dos diversos parâmetros, baseada no comportamento das curvas das médias móveis. A abreviação entre parênteses representa o número de meses após o derramamento.

Estação Caiubura

Com base nas curvas de tendência das medidas de folhas de *R. mangle*, foi possível observar que essas aumentaram de tamanho, a partir de fevereiro/85 (16 M). Nota-se que a área foliar aumentou principalmente em



função do comprimento, pois o comportamento das curvas é semelhante, sendo que o aumento da largura foi contínuo. Com relação às folhas de *L. racemosa*, para as três medidas observadas, notou-se também um aumento, embora este tenha se iniciado em julho/84 (9 M). Para *A. schaueriana*, observou-se um aumento de seu tamanho, sendo que este foi mais significativo a partir de agosto/85 (22 M), no que se refere ao comprimento e à largura. Já a área foliar mostrou um aumento contínuo desde maio/84 (7 M).

A porcentagem de pastejo sobre as folhas das três espécies de mangue diminuiu ao longo do período de amostragem, sendo que para *A. schaueriana* essa diminuição foi menos acentuada.

Estação rio Iriri

De uma maneira geral, a área foliar das três espécies estudadas aumentou, sendo que este aumento tornou-se mais efetivo por volta de novembro/84, o que corresponde, aproximadamente, a um ano após o derramamento.

Com relação à porcentagem de pastejo sobre as folhas, observou-se para todas as espécies um decréscimo da mesma, principalmente a partir de maio/84.

Estação Largo do Candinho

Com base nas medidas foliares, pode-se notar que, de uma maneira geral, houve um aumento no tamanho das folhas das três espécies. No entanto, esse aumento não seguiu nenhum padrão comum.

Figura 2 — Curva das Médias Móveis (11 termos) diária foliar (cm^2) de folhas semecentes *R. Mangle* da estação rio Iriri.

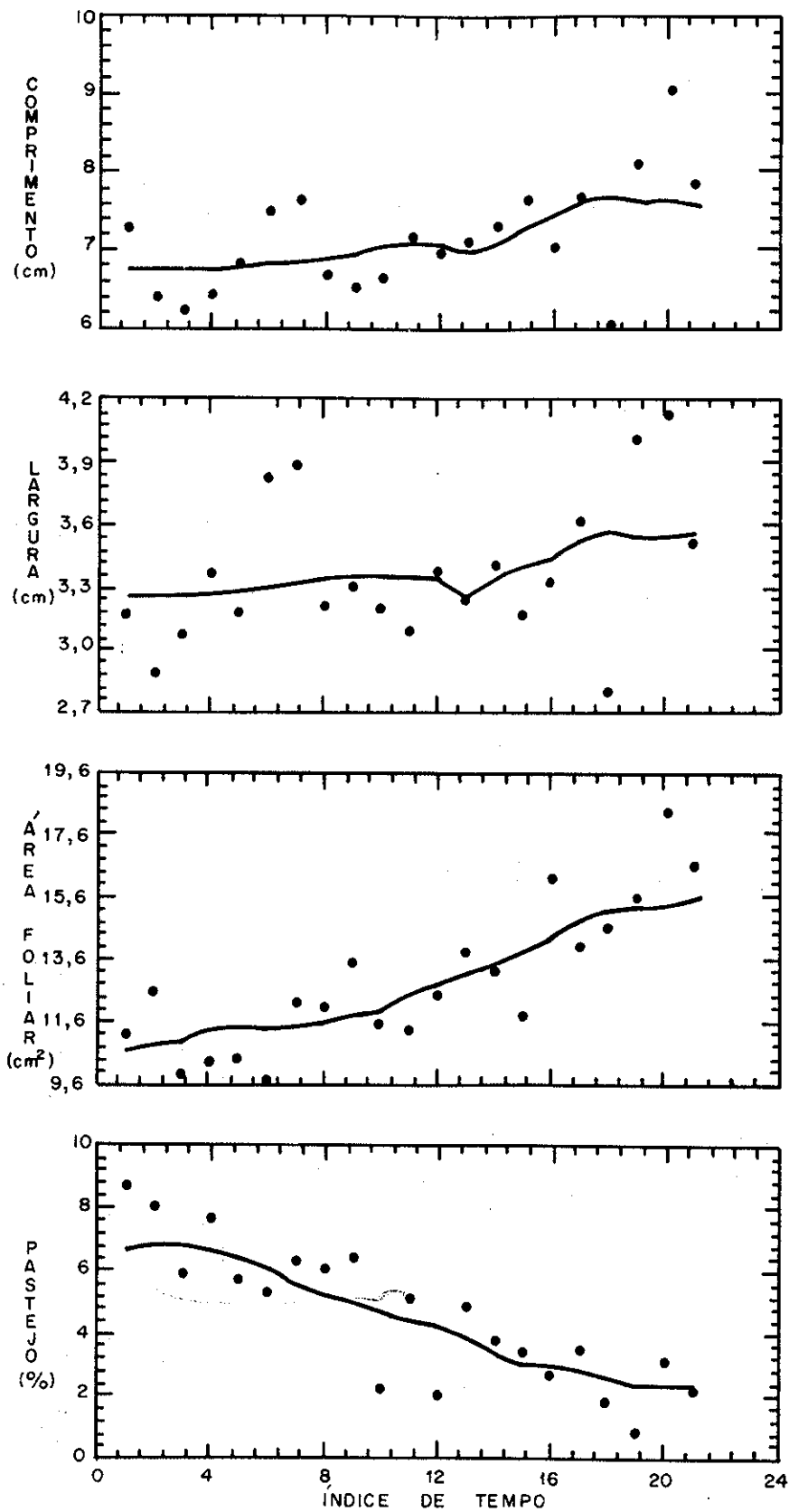


Tabela 1 - Dados referentes aos valores mínimos, máximos, média e desvio padrão (S) do comprimento e largura, área foliar e pastejo de *Rhizophora mangle* (Rh) *Laguncularia racemosa* (Lg) e *Avicennia Schaueriana* (Av), da estação Caiubura.

SP	DATA	COMPRIMENTO (cm)				LARGURA (cm)				ÁREA FOLIAR (cm2)				PASTEJO (%)			
		MÍN	MÁX	MÉDIA	S	MÍN	MÁX	MÉDIA	S	MÍN	MÁX	MÉDIA	S	MÍN	MÁX	MÉDIA	S
R H	1984	5,3	14,5	10,36	0,60	2,5	6,7	4,84	0,24	2,30	47,24	32,89	2,45	0,69	7,41	3,37	2,23
	1985	6,4	14,7	10,74	0,48	2,9	7,0	4,85	0,17	10,80	60,30	33,49	3,74	2,04	4,73	3,11	1,00
	1986	7,4	15,0	10,78	0,84	3,4	6,6	4,95	0,28	12,13	62,95	32,67	6,45	0,15	2,47	1,00	0,89
	1987	9,2	14,6	11,81	0,11	3,8	6,8	5,25	0,04	12,00	69,64	39,11	0,20	1,12	1,21	1,17	0,04
L G	1984	4,0	13,7	7,52	0,54	1,7	7,8	3,70	0,26	2,70	60,50	19,47	2,42	3,43	9,06	5,77	1,44
	1985	3,9	12,9	9,11	0,53	2,2	6,2	4,20	0,28	3,60	61,80	27,56	4,51	2,46	3,11	2,71	0,24
	1986	3,1	13,7	8,96	0,43	1,9	6,3	4,58	0,32	6,35	56,50	24,97	1,70	0,61	2,27	1,52	0,63
	1987	5,7	12,8	9,27	0,57	2,5	6,1	4,24	0,20	9,46	54,49	25,19	0,54	1,64	2,54	2,09	0,45
A V	1984	3,3	13,1	7,54	0,31	1,2	5,4	3,08	1,00	2,60	38,60	13,47	1,73	0,76	3,75	2,34	1,00
	1985	4,0	11,1	7,52	0,51	1,2	5,3	3,26	0,24	2,00	43,10	16,65	3,07	1,87	5,61	3,73	1,33
	1986	4,7	11,2	7,89	0,40	1,8	5,1	3,6	0,18	4,71	40,86	15,72	1,96	0,60	2,58	1,54	0,79
	1987	6,2	12,3	9,67	0,13	2,7	6,0	4,24	0,18	4,18	38,38	18,15	2,08	0,91	1,97	1,44	0,53

Tabela 2 - Dados referentes aos valores mínimos, máximos, média e desvio padrão (S) do comprimento e largura, área foliar e pastejo de *Rhizophora mangle* (Rh) *Laguncularia racemosa* (Lg) e *Avicennia Schaueriana* (Av), da estação rio Iriri.

SP	DATA	COMPRIMENTO (cm)				LARGURA (cm)				ÁREA FOLIAR (cm2)				PASTEJO (cm)			
		MÍN	MÁX	MÉDIA	S	MÍN	MÁX	MÉDIA	S	MÍN	MÁX	MÉDIA	S	MÍN	MÁX	MÉDIA	S
R H	1984	5,0	14,6	9,88	0,57	2,4	7,2	4,59	0,28	5,60	71,00	28,47	1,77	1,49	4,75	2,86	1,14
	1985	5,0	13,5	10,46	0,56	2,4	6,7	4,78	0,37	8,40	70,90	31,63	4,73	1,38	2,44	1,95	0,40
	1986	5,7	14,0	9,88	0,76	3,0	6,8	4,58	0,24	10,62	64,28	35,07	4,64	0,49	3,59	1,41	1,28
	1987	7,5	13,7	10,81	0,12	3,7	6,9	4,88	0,00	13,32	69,67	32,94	3,88	0,78	0,85	0,82	0,03
L G	1984	3,9	11,2	7,12	0,54	2,0	5,9	3,73	0,18	3,30	45,62	19,13	2,41	2,72	8,31	5,13	1,87
	1985	4,1	11,7	7,90	0,65	2,4	6,4	4,05	0,22	4,10	46,20	18,97	2,13	1,62	2,60	2,11	0,35
	1986	5,0	11,5	8,55	0,58	2,8	6,0	4,33	0,22	5,10	47,32	23,71	2,06	1,20	2,59	1,74	0,55
	1987	6,0	12,2	9,87	0,24	3,6	6,0	4,60	0,16	4,37	57,41	27,79	0,70	1,05	2,09	1,57	0,52
A V	1984	2,9	10,3	6,87	0,46	1,7	7,6	3,29	0,29	2,10	28,40	11,37	1,17	2,24	8,72	6,14	1,65
	1985	4,2	9,9	7,29	0,26	2,0	5,4	3,30	0,10	1,50	42,40	12,89	0,79	2,01	4,80	3,52	1,00
	1986	3,0	11,0	7,25	0,80	1,4	6,8	3,44	0,45	3,19	35,96	15,17	0,85	0,88	3,51	2,23	0,98
	1987	5,4	12,6	8,52	0,62	2,2	6,0	3,83	0,31	5,58	35,68	17,56	0,84	2,17	3,05	2,61	0,44

Tabela 3 - Dados referentes aos valores mínimos, máximos, média e desvio padrão (s) do comprimento e largura, área foliar e pastejo de *Rhizophora mangle* (Rh) *Laguncularia racemosa* (Lg) e *Avicennia schaueriana* (Av), da estação Largo do Candinho.

SP	DATA	COMPRIMENTO (cm)				LARGURA (cm)				ÁREA FOLIAR (cm2)				PASTEJO (%)			
		MÍN	MÁX	MÉD	S	MÍN	MÁX	MÉD	S	MÍN	MÁX	MÉD	S	MÍN	MÁX	MÉD	S
R H	1984	5,4	14,3	10,36	0,35	2,3	6,7	4,69	0,22	5,13	58,90	31,62	1,90	1,86	8,09	3,97	2,42
	1985	7,0	15,6	11,22	0,52	3,0	6,8	4,93	0,22	4,60	70,40	34,76	3,78	1,28	3,14	2,26	0,87
	1986	6,4	15,3	11,14	0,88	3,0	6,8	4,98	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—
L G	1984	3,1	12,3	7,57	0,60	2,1	6,0	3,71	0,23	1,80	52,30	18,68	3,65	2,85	4,64	3,92	0,68
	1985	3,8	12,1	8,26	0,59	1,6	7,2	4,02	0,30	5,30	45,40	20,40	1,94	1,16	1,79	1,54	0,27
	1986	3,8	12,2	8,30	0,74	2,0	6,2	4,30	0,39	—	—	—	—	—	—	—	—
A V	1984	3,8	10,9	7,10	0,76	1,6	5,8	3,58	0,47	3,10	38,90	12,76	2,22	2,53	3,63	3,07	0,48
	1985	4,4	11,2	7,78	0,41	2,2	5,7	3,50	0,23	3,10	38,30	14,75	2,28	2,19	6,03	3,87	1,43
	1986	3,5	12,1	7,78	0,55	2,0	5,9	3,74	0,13	—	—	—	—	—	—	—	—

No que se refere à porcentagem de pastejo sobre as folhas, notou-se comportamentos contrários para *R. mangle* e *A. schaueriana*, diminuindo na primeira e aumentando na segunda.

Resultados da Análise Estatística

Rhizophora mangle

As folhas de *R. mangle* mostraram um aumento significativo para largura e comprimento apenas na estação Largo do Candinho. Com relação à área das folhas desta espécie, observou-se que houve um aumento significativo nas estações Caiubura e Largo do Candinho, sendo que a taxa de crescimento foi maior na estação 3. Quanto ao pastejo de folhas, notou-se uma tendência a uma pequena diminuição apenas na estação rio Iriri.

Laguncularia racemosa

Para a largura de folhas desta espécie, verificou-se um aumento significativo na estação rio Iriri e uma diminuição na estação Largo do Candinho. Já para a área foliar, observou-se um aumento significativo na estação Caiubura e Largo do Candinho.

Avicennia schaueriana

Com relação ao comprimento de folhas verdes de *A. schaueriana*, observou-se um aumento significativo nas estações Caiubura e Largo do Candinho, sendo que a taxa de crescimento para a estação 3 foi superior à da estação 1. No que diz respeito à área foliar dessa espécie, verificou-se um aumento significativo nas estações 2 e 3, sendo que a taxa de crescimento para estação 3 foi superior. Para a porcentagem de pastejo, observou-se uma diminuição apenas na estação rio Iriri.

Discussão

Neste estudo, pode-se observar que o efeito mais imediato do óleo sobre as espécies de mangue se traduz em murchamento das folhas e perda de dossel. Uma grande desfolhação foi também constatada em trabalhos com manguezais, sob as mesmas condições, em outras partes do mundo (Lugo, *et alii*, 1980; Teas *et alii*, 1980).

Sob condições normais, a produção e queda de folhas nos manguezais é estacional (Gill & Tomlison 1971; *apud* Pool *et alii*, 1975). No entanto, durante as campanhas, observou-se uma acentuada e contínua queda de folhas, indicando uma condição de "estresse" crônico, uma vez que esta não ocorria em fase com a produção de novas folhas. Estudiosos (Lugo & Snedaker, 1975) sugeriram que a excessiva queda de folhas dá lugar a uma menor capacidade fotossintética do sistema, conduzindo a um eventual colapso do ecossistema se o efeito do tensor for crônico.

Além do alto grau de desfolhação, foi constatado nas poucas folhas das três espécies de mangue que permaneceram, e sobre aquelas geradas posteriormente, sintoma de diversos tipos refletindo a perda de energia causada pelo tensor. No decorrer do acompanhamento foram observadas as seguintes alterações morfofisiológicas nas folhas de mangue:

= Murchamento foi o primeiro sintoma observado, resultando numa modificação da textura. Folhas de *L. racemosa* em seu desenvolvimento normal, vão se tornando mais suculentas em decorrência de um mecanismo próprio de regulação (Biebel & Kinzel, 1965 *apud* Weishaupl, 1981). Entretanto, observou-se que estas apresentaram-se quebradiças. Desta forma, este sintoma pode representar um dano à capacidade de osmorregulação da planta.

= Manchas e perfurações foram observadas, principalmente em folhas de *R. mangle* e *A. schaueriana*, sendo que as manchas foram registradas primeiramente na última espécie. Também verificou-se maior ocorrência de galhas em folhas de *A. schaueriana*, chegando, em alguns casos, a ocupar a quase totalidade da superfície foliar.

Foram também observadas nas folhas das três espécies de mangue: amarelecimento, enrolamento e clorose. Todas essas alterações são resultado do efeito do óleo na atividade foliar, podem estar associadas a outros processos, como o de regulação de sal no interior da planta (Baker, 1970).

As espécies de mangue possuem adaptações fisiológicas específicas para se desenvolver em substrato de alta salinidade, apresentando mecanismos que diferem em eficiência (Mirazchi *et alii*, 1980). Essas diferentes formas de regulação da absorção de sais nas espécies de mangue condicionam a penetração de óleo até as folhas, resultando em respostas diversas a cada derramamento.

No presente estudo, as alterações foram observadas mais acentuadamente nas folhas de *A. schaueriana*, com menor intensidade nas folhas de *L. racemosa*, sendo que a espécie menos afetada foi *R. mangle*.

Este fato está de acordo com os resultados obtidos em experimentos realizados por Getter *et alii* (1985) nos a *Avicennia* mostrou um limiar de sensibilidade mais baixo que a *Rhizophora*, apresentando, até mesmo em baixas concentrações de óleo, um maior número de efeitos subletais, incluindo o crescimento anormal de galhos e a mortalidade de raízes. A resistência da *Rhizophora* está vinculada à sua habilidade de excluir os sais e algumas moléculas orgânicas na absorção radicular, fazendo o mesmo com o óleo. Já a *Avicennia* é apenas parcialmente capaz disso, pois sua osmorregulação se dá através da eliminação de substâncias por glândulas especializadas da superfície foliar. Aparentemente, esse mecanismo facilita a retirada do óleo pelas raízes e seu transporte até as folhas (Getter *et alii*, *op. cit.*).

É importante salientar que o produto final de todos estes registros é a redução da superfície foliar total do bosque, não só pela diminuição do número de folhas em função de sua queda, como também pelo comprometimento da superfície foliar fotossintética devido a alterações como manchas, necroses e outros.

Além das alterações qualitativas descritas, outro dano que frequentemente é citado nos trabalhos referentes ao impacto de óleo no ecossistema de manguezal, é a redução no tamanho das folhas. Dessa forma, foi efetuada uma análise tomando como base as variáveis relacionadas às medidas foliares.

Medidas de comprimento e largura de folhas têm sido empregadas como indicadoras da qualidade do ambiente (Schoeffer Novelli & Cintrón, 1986). A redução da superfície foliar, associada à alteração de tensores crônicos, tais como altas salinidades, petróleo e outros, vem sendo documentada por diversos autores (Lugo & Snedaker,

1974; Lugo *et alii*, 1980 apud Cintrón & Schaeffer Novelli, 1983).

Em oposição a estes dados, na análise das curvas das médias móveis desses parâmetros foi possível constatar um aumento do tamanho das folhas de *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. schaueriana*, para as três estações de estudo. Este aumento tornou-se mais efetivo, de um modo geral, um ano após o evento, fato que, segundo Tonlinson (1986), é o tempo necessário para que haja uma renovação da folhagem das copas das árvores.

Apenas no estudo de Ponte *et alii* (1987), que acompanharam o efeito crônico do fato durante trinta meses, efetuado na mesma região, também foram observados aumentos significativos da área foliar para as três espécies de mangue. Esse aumento, registrado pelas autoras, chegou a atingir valores superiores a 50%, e esta alteração iniciou-se dez meses após o manguezal ter sido atingido pelo óleo.

A análise estatística revelou que a estação 3 foi a que apresentou maior número de variáveis de medida de folhas com aumento significativo, principalmente para *R. mangle* e *A. schaueriana*, podendo-se portanto dizer que na estação 3 essas duas espécies tiveram, de fato, um aumento no tamanho de suas folhas. O aumento da área foliar de *A. schaueriana* parece estar apenas relacionado ao aumento do comprimento, uma vez que para a largura não foi observada nenhuma tendência significativa.

É importante ressaltar que a área foliar foi a variável que revelou maior número de alterações significativas, todas mostrando uma taxa de crescimento positiva. Para esta variável, *A. schaueriana* foi a espécie para a qual se constatou um crescimento em todas as estações de coleta.

De um modo geral, observou-se, portanto, um aumento estatisticamente significativo do tamanho das folhas senescentes, o que reforça as conclusões da descrição das curvas de tendência. Esse aumento só não foi confirmado estatisticamente para a estação rio Iriri, no que se refere às espécies *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*. Supõe-se que o comportamento das variáveis na estação 3 foi similar ao observado para as demais, uma vez que esta também sofreu a ação de óleo por ocasião de um evento posterior, ocorrido em setembro de 1984.

Tendo em vista que grande parte da bibliografia a respeito do efeito do óleo sobre os manguezais relata, como sendo uma das alterações na função do bosque, a diminuição do tamanho das folhas para as três espécies de mangue, e os resultados deste estudo revelaram uma tendência claramente contrária, julgou-se oportuno e interessante formular algumas hipóteses, na tentativa de explicar tal discrepância.

Hipótese 1

Nesta primeira hipótese, atribuiu-se esse crescimento a uma compensação das plantas à diminuição da superfície fotossintética, perdida pela acentuada queda das folhas e pelas alterações fisiológicas das mesmas.

A maioria dos trabalhos que trazem dados dos efeitos do óleo no manguezal não documenta um acompanhamento do efeito crônico num período prolongado, como foi feito neste. Dessa forma, ficaria uma dúvida com relação à variação do tamanho das folhas. Tal estrutura, por exemplo, poderia ter, em princípio, uma redução no seu tamanho mas, ao longo do tempo, as árvores canalizariam sua energia para produzir folhas maiores no sentido

de aumentar sua área fotossintética tão comprometida, como forma de compensar a diminuição da sua área foliar total com a queda e a redução do tamanho. Essa canalização de energia ocorreria em detrimento de outras funções, como reprodução, por exemplo, resultando no abortamento de propágulos como o observado durante o período de amostragem (Cetesb, 1989) sendo também citado por Schoeffer Novelli (1986) uma vez que a função fotossintética da folha é prioritária para a sobrevivência da planta. Além disso, a formação de um maior número de folhas implicaria um maior gasto de energia, que ela não possui nas condições de "estresse" em que se encontra. Desse modo, o aumento da superfície foliar das poucas folhas que são geradas, seria a forma mais econômica de suprir tal deficiência.

Hipótese 2

A segunda hipótese baseia-se na seleção das espécies em decorrência do tensor. Acredita-se que anteriormente ao evento, o bosque de mangue abrigasse uma comunidade vegetal com indivíduos de diferentes graus de desenvolvimento e resistência. Com a ocorrência do tensor, os indivíduos pertencentes às espécies de mangue foram sendo selecionadas à medida em que foram sobrevivendo ao efeito crônico. Acredita-se que os indivíduos remanescentes sejam mais resistentes e possuam um maior desenvolvimento estrutural, como por exemplo, folhas de maior tamanho. Assim sendo, as amostras realizadas numa população mais homogênea, já selecionada, irão refletir as características de maior superfície foliar da população.

Os dados referentes ao tamanho das folhas apóiam essa hipótese, uma vez que os valores mínimos aumentaram e os máximos permaneceram constantes, o que tornou os valores médios das últimas amostragens superiores aos valores médios iniciais, embora estejam abaixo dos valores máximos iniciais. Isso indica que a população de folhas amostradas não sofreu uma modificação na sua composição de classes de tamanho, mas sim uma alteração na frequência relativa das mesmas, isto é, nas amostragens finais a quantidade de folhas pequenas era bem menor que a de folhas grandes, resultando num aumento do valor médio.

Hipótese 3

Outra possibilidade seria a de que esse aumento corresponderia a uma atenuação do efeito agudo do óleo. Assim sendo, na realidade houve uma diminuição do tamanho das folhas logo após o evento. Getter *et alii* (1984) constataram, em experimentos de laboratório, que a maioria dos danos nas árvores adultas e plântulas ocorreu no intervalo de quatro meses, sendo que nenhum novo efeito foi observado após este período. Assim, essa diminuição corresponderia às primeiras medidas de tamanho foliar. E, portanto, o que ocorreu durante o período de monitoramento foi simplesmente uma melhora das condições fisiológicas constatada através das medidas foliares, conforme o efeito do óleo foi se reduzindo.

Para se realizar uma comparação levantou-se, em vários trabalhos, alguns dados do tamanho médio das folhas das espécies de mangue, apresentados na tabela 4. A partir desses dados, nota-se que as medidas foliares finais

deste estudo correspondem aproximadamente àquelas citadas como médias em diversas publicações. Isso viria corroborar essa hipótese, uma vez que os dados iniciais refletiriam o tamanho das folhas das árvores recém-impactadas e, portanto, de tamanho inferior, o que já foi observado por muitos autores para áreas impactadas por óleo; unicamente, nesses relatos, não houve registros posteriores para verificar se um aumento gradual se processaria com o tempo, como neste caso.

É importante ressaltar que, apesar de terem sido formuladas três hipóteses distintas, estas não são exclusivas, podendo estar havendo uma superposição das mesmas, com diferentes graus de influência.

Outra variável que está relacionada com as condições ambientais é a porcentagem de pastejo. Sob condições de rigor ambiental parece haver um incremento da herbivoria. Esta está relacionada também com as espécies presentes no bosque de mangue, uma vez que *Avicennia* parece ser a mais vulnerável ao pastejo (Schaffer-Novelli & Cintrón, 1986).

No presente estudo, através da análise das curvas das médias móveis, foi possível observar que a porcentagem de pastejo diminuiu em todas as estações, com uma única exceção, relativa às folhas de *A. schaueriana*, na estação Largo do Candinho, na qual foi registrado um aumento da atividade dos herbívoros.

Através da análise estatística dessa variável (porcentagem de pastejo), nota-se que a estação rio Iriri foi a única que apresentou uma diminuição estatisticamente significativa para *R. mangle* e *A. schaueriana*, confirmando as análises referentes à curva de tendência. Embora o fato não tenha sido confirmado estatisticamente, pode-se dizer que existe uma clara tendência de diminuição da herbivoria em todas as estações e para as três espécies de mangue, excetuando-se a *A. schaueriana* na estação Largo do Candinho.

Os dados referentes à porcentagem de pastejo, apesar do efeito crônico do óleo, foram todos inferiores a 10%, que, segundo Schaffer-Novelli & Cintrón (1986), é o valor máximo característico de bosque de mangue saudável. Estudos realizados por Ponte *et alii* (1987), no canal da Bertioga, também mostraram uma porcentagem de pastejo inferior a 10%, apesar de ter sido registrado um aumento desse parâmetro no verão de 1985. Em vista dessas ocorrências, acredita-se que a porcentagem de pastejo pode variar em função das espécies que compõem a fauna herbívora de cada local, mesmo que estes sejam próximos.

A hipótese de que as áreas de manguezal mais "estressadas" possam apresentar maior herbivoria não foi confirmada pelos dados obtidos. É possível que diferentes tensores provoquem danos semelhantes na comunidade vegetal dos manguezais (tornando-os mais susceptíveis à ação de predadores), mas não implicando necessariamente em conseqüentes taxas de pastejo similares, por apresentarem ações diversas sobre os herbívoros.

Um determinado tensor pode prejudicar a comunidade vegetal bem como a fauna herbívora; e outro pode prejudicar a flora, mas não interferir na comunidade herbívora; ou, então, pode até favorecer a sua proliferação, o que explicaria as diferentes variações da herbivoria.

No caso deste estudo, formulou-se algumas hipóteses para explicar a variação da porcentagem de pastejo. O óleo poderia ter provocado a migração dos consumidores primários para outro local, em busca de mais alimen-

to, em função da queda das folhas. Outra possibilidade seria a de que as frações aromáticas do óleo, eliminadas pelas folhas, e o acúmulo das outras frações inibissem o consumo das mesmas. O óleo pode também interferir no desenvolvimento larval ou em outra fase do ciclo de vida de alguns insetos e outros herbívoros, o que diminuiria a sua população. Tudo isso resultaria na diminuição da porcentagem de pastejo.

Apesar deste estudo acompanhar exclusivamente os efeitos do óleo no manguezal, deve-se considerar que esta região recebe diariamente um grande volume de efluentes domésticos e industriais, que trazem conseqüências diversas ao ecossistema (Tommasi, 1979). Dessa forma, não se pode descartar a possibilidade de ocorrência de uma associação de efeitos, quando esses poluentes interagem com o óleo.

Como síntese dos resultados e análises deste estudo foi elaborado um esquema ilustrativo demonstrando as principais alterações observadas nas folhas de mangue (Figura 3).

Conclusões

- 1) Com relação às folhas de *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. schaueriana*, observou-se para as três estações de estudo um aumento do comprimento, largura e área foliar, que tornou-se mais efetivo um ano após o derramamento.
- 2) Constataram-se, nas folhas das três espécies de mangue, alterações morfo fisiológicas de diversos tipos, refletindo a perda de energia causada pelo tensor: manchas, perfurações, murchamento, amarelecimento, galhas e enrolamento, que prejudicam várias funções vitais.
- 3) Os resultados das taxas de pastejo sobre as folhas não confirmam o aumento da herbivoria em áreas degradadas. Observou-se, neste estudo, uma diminuição da taxa de pastejo, embora não tenham sido confirmadas estatisticamente.
- 4) O alto grau de desfolhação, associado às alterações foliares, diminuiu significativamente a superfície fotossintética dos indivíduos que sobreviveram ao evento.
- 5) Dentre as variáveis analisadas constatou-se que tanto o comprimento como a largura e a área foliar são indicadores adequados na avaliação da qualidade ambiental.
- 6) Para as variáveis selecionadas como indicadoras, a área foliar parece ser suficiente para uma análise de alteração do tamanho da folha. Todavia, o comprimento e a largura são mais significativos se analisados conjuntamente.

Agradecimentos

As autoras agradecem às biólogas Dra. Denise Navas Pereira e M. Sc. Guiomar Johnscher Fornasaro por suas sugestões e revisão final, ao estatístico Antônio de Castro Bruni pela análise de dados e à desenhista Marisa Cury pela confecção das figuras.

Bibliografia

- BAKER, J.M. The effects of oil on plants. *Environmental Pollution*. 1:27-44, 1970.
- BRANCO, S.M. & ROCHA, A.A. *Ecologia: educação ambiental ciência do ambiente para universitários*. CETESB, São Paulo, 1980. 206p.

Tabela 4 — Dados referentes às medidas de comprimento e largura das folhas das espécies de mangue.

ESPÉCIE	COMPRIMENTO (cm)	LARGURA (cm)	LOCAL	BIBLIOGRAFIA
R. mangle	15	—	América Central	SCHAEFFER-NOVELLI & CINTRON (1986)
L. racemosa	4 - 11	4 - 5		
R. mangle	12	5	Itanhaém (SP)	LAMBERTI (1969)
L. racemosa	10	4		
A. schaueriana	8	3		
R. mangle	10,9 - 11,3	5,1 (x)	Cananéia (SP)	ADAIME (1985)
L. racemosa	7,1 - 9,1	4,3 - 4,7		
R. mangle	10 - 12	5	—	TOMLISON (1986)
L. racemosa	5 - 8	3 - 5		
R. mangle	9,14 (x)	4,13 (x)	Baixada Santista (SP)*	CETESB (1988)
L. racemosa	6,04 (x)	3,16 (x)		
A. schaueriana	7,41 (x)	3,69 (x)		
R. mangle	10,8 - 11,8 (x)	4,8 - 5,2 (x)	Bertioga (SP)	CETESB (1989) (médias finais do presente estudo)
L. racemosa	8,3 - 9,8 (x)	4,2 - 4,6 (x)		
A. schaueriana	7,8 - 9,7 (x)	3,7 - 4,2 (x)		

(x) Valores médios.

* Valores referentes à estação Ilha Araçanã.

CETESB, São Paulo. *Operação Bertioga*. São Paulo, 1983. 112p. (Não publicado)

. *Avaliação da toxicidade das águas, sedimentos dos rios e efluentes industriais da região de Cubatão*. São Paulo, CETESB, 1986. Vol. I, 76p. (Relatório não publicado)

. *Estudo dos manguezais da Baixada Santista*: Relatório final. 1988. São Paulo, 1988. 70p. (Não publicado)

. *Levantamento de subsídios e instrumentação para o gerenciamento de áreas costeiras ecologicamente sensíveis*. Informe final, 2 vols. São Paulo, 1989. (Não publicado)

CINTRÓN, G. & SCHAEFFER — NOVELLI, Y. Introducción a la ecología del manglar. Uruguay, UNESCO, 1983. 109p.

GETTER, C.D.; BALLOU, T.C.; DAHLIN, J.A.; PRZBYCEL, M. & MORGANS, S. *Effects of oils and dispersants on mangrove forest and seedlings of Rhizophora mangle and Avicennia germinans*: final report. Columbia, Research Planning Institute, 1984. 166p. (RPI/R/84/6/15-10).

GETTER, C.D.; BALLOU, T.C. & KOONS, C.B. Effects of dispersed oil on mangroves synthesis of a seven-year study. *Marine Pollution Bulletin*, Great Britain, 16 (8): 318-24, 1985.

GUNDLACH, E.R. & HAYES, M.O. Classification of coastal environments in terms of potential vulnerability to oil spill impact: *Mar. Tech. Soc. Jour*, 12(4):18-27, 1978.

LUGO, A.E. & SNEDAKER, S.C. The ecology of mangroves. *An Rev. Ecol. System*. 5: 39-64, 1974.

Properties of a mangrove forest in southern Florida. In Proceeding of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves. WALSH, G.; SNEDAKER, S.C. & TEAS, H., eds. Gainesville, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, v. 1, p.170-212. 1975.

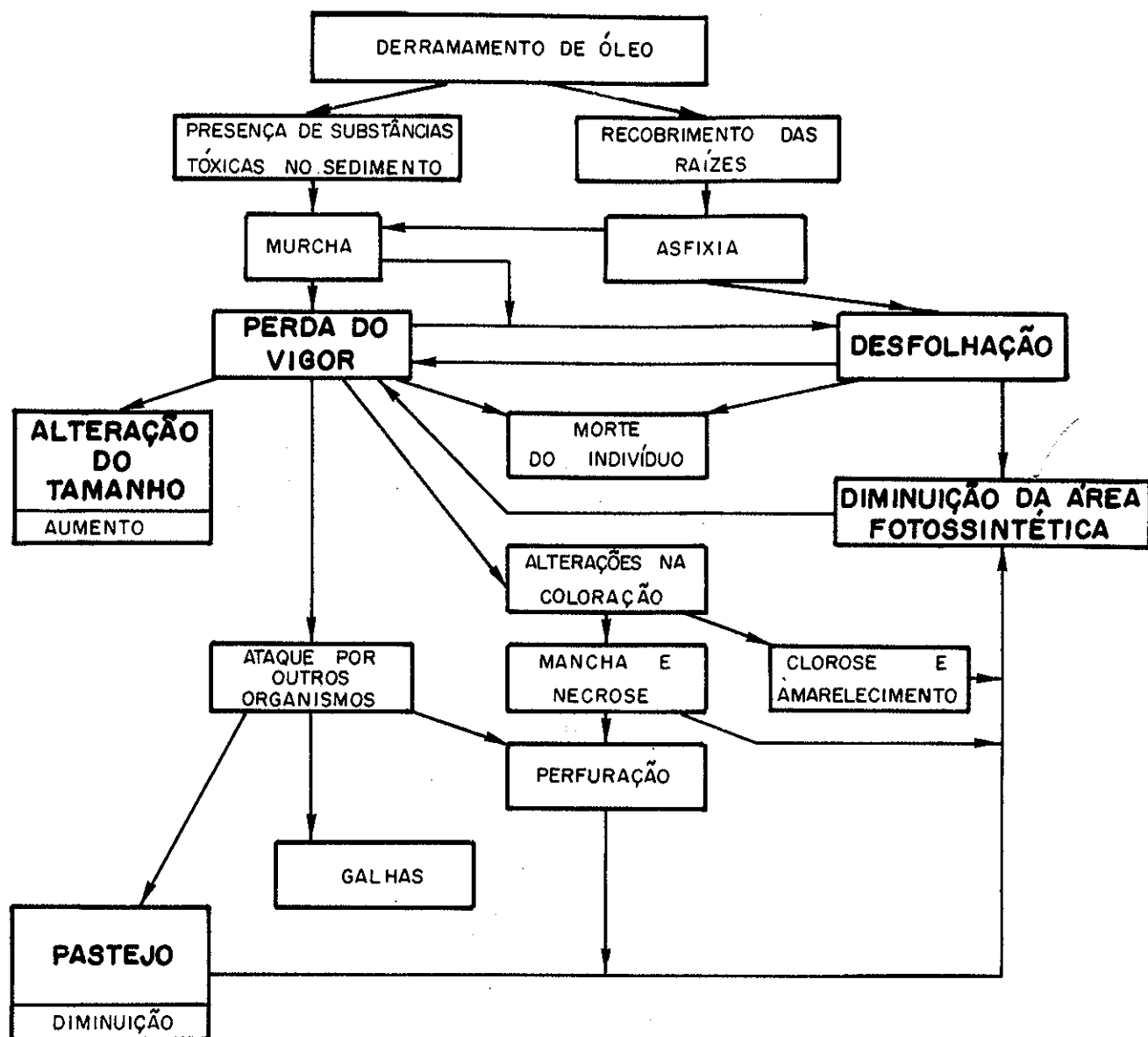
LUGO, A.E. Avances y prioridades de investigación en manglares. In: SEMINARIO SOBRE EL ESTUDIO CIENTIFICO E IMPACTO HUMANO EN EL ECOSISTEMA DEL MANGLARES, UNESCO, 1980. pp. 59-76.

. CINTRÓN, G. & C. GOENAGA El ecosistema del manglar bajo tension. In: SEMINARIO SOBRE EL ESTUDIO CIENTIFICO E IMPACTO HUMANO EN EL ECOSISTEMA DEL MANGLARES, UNESCO, 1980. pp 261-285.

MIZRACHI, D.; PANNIER, R. & PANNIER, F. Assesment of salt resistance mechanism as determinant physio-ecological parameters of zonal distribution of mangrove species. I. Effect of salinity stress on nitrogen metabolism balance and protein synthesis in the mangrove species *Rhizophora mangle* and *Avicennia nitida*. *Botânica Marine* 23: 289-96, 1980.

MORETTIN, P.A. & TOLOI, C.M.C. Modelos para previsão de séries temporais. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE

Figura 3 — Esquema ilustrativo dos efeitos do óleo observados para as folhas das espécies de mangue.



MATEMÁTICA, 13. Minas Gerais, 1981. vol. 1. 356p.
 PONTE, A.C.E.; FONSECA, I.A.Z. & CLARO, S.M.C.A. Impacto causado por petróleo no manguezal do Canal da Bertioiga — Estrutura da vegetação. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. Cananéia, 1987. Anais. São Paulo, ACIESP, 1987, 2: 132-147.
 POOL, D.S.; LUGO, A.E. & SNEDAKER, S.C. Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico. In: International Symposium on Biology and Management of Mangroves, Hawaii, 1975, Proceedings. Hawaii, East West Center, 1975, pp 213-237.
 SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Rompimento do oleoduto: avaliação de impacto ambiental — Canal da Bertioiga. São Paulo — Brasil. Santos, 1986. 135p. (Laudo pericial, não publicado)*
 & CINTRÓN, G. *Guia para estudo de áreas de manguezal, estrutura, função e flora. São Paulo, Caribbean Ecolo-*

gical Research, 1986. 150p. + 3 apêndices.
 SNEDAKER, S.C. Oil spill in mangrove. *Boletim de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* — Tomo XL. n.º 143:423-42, 1985.
 TEAS, H.J.; DUERR, E. O. & WILCOX, J.R. Effects of south Louisiana crude oil and dispersants on *Rhizophora* mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 18 (3):122-24, 1987.
 TOMLINSON, P.B. *The botany of mangroves*. USA, Cambridge University Press, 1986. 413p.
 TOMMASI, L.R. *Considerações ecológicas sobre o sistema estuarino de Santos (SP)*. São Paulo, 1979, 2 vols. (Tese de livre-docência da Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, não publicado.)
 WEISHAUPL, L. *Plantas de mangue: contribuição ao conhecimento de L. racemosa (L.) Gaertn. f. (Combretaceae)*. (Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, não publicado). São Paulo. 157p., 1981.