

UNICAMP EXERCÍCIO
TESE DEFENDIDA PELA CANDIDATA

MARICY



MARINO E APROVADA PELA
JULGADORA.

RESPOSTAS ADAPTATIVAS DE DUAS ESPÉCIES HERBACEAS AS
CONDIÇÕES AMBIENTAIS DE CUBATÃO - SP.

MARICY MARINO

Tese apresentada ao Instituto
de Biologia da Universidade
Estadual de Campinas para a
obtenção do Grau de Mestre em
Biologia, área de Ecologia

Orientador: Prof. Dr. CARLOS ALFREDO JOLY

Campinas - SP

1990



A minha família

Ao Cláudio

Agradecimentos

Agradeço a todos que nos mais diversos momentos ajudaram na realização deste trabalho

Ao CNPq, CAPES e FMB, pela concessão de bolsas

À FAPESP, pelo financiamento de parte do projeto

À COPEBRÁS- SA, pela autorização de trabalho dentro de sua área, e pelo auxílio prestado no trabalho de campo por parte de seus funcionários, em especial S.Chagas, que prestou uma ajuda inestimável

À ELETROPAULO, pelo contrato de comodato viabilizando o trabalho sob as linhas de energia

Ao CENA, pelo incansável auxílio de todo seu pessoal com as análises químicas, e em especial à Dra. Maria Fernanda G. Giné Rosias pelo incentivo e orientação

Ao Prof.Dr. Ademir José Petenate, pelo auxílio fundamental com as análises estatísticas

À Família Casanova pela ajuda e interesse pelo trabalho e pelo "alojamento" em S.Vicente

Ao Prof. Dr. Ivany Válio, pela autorização do uso da casa de vegetação

Ao Prof.Dr. Carlos Alfredo Joly, pelo apoio, orientação e por ter possibilitado a realização deste trabalho

Ao Prof.Dr. Hermógenes de Freitas Leitão Filho, pela colaboração em diversas ocasiões, e pelas sugestões dadas ao trabalho

Aos Profs.Drs. Woodruff W. Benson, e Virgílio Viana pela leitura atenciosa da tese e pelas sugestões e críticas

Ao Prof. Flávio Antonio M. dos Santos, pela contribuição em diversos momentos através da leitura de manuscritos, discussões e sugestões, e pela atenção dedicada

Aos Prof.Drs. George J. Shepherd e Paulo Soderó Martins pelas discussões ao longo do trabalho

Aos funcionários do Departamento de Botânica pela colaboração e pelo convívio, e em especial ao S.Zé pelo cuidado com as plantas na casa de vegetação, à Wilma pelo auxílio no laboratório, ao Celsão pelo interesse e ajuda com referências bibliográficas e ao João Carlos pela ajuda em diversas atividades

À Izabel Pereira de Assis Tozzi, pela ajuda constante e dedicada no laboratório, e pela amizade

À Hilda Maria Coimbra, pelo auxílio com a separação de sementes no laboratório

Aos funcionários de Departamento de Fisiologia Vegetal pela colaboração, e em especial aos Srs. Aribis, Pedro e Sebastião, pelo cuidado com as plantas na casa de vegetação

Ao Marquinhos pela ajuda no trabalho com o micro

À todos os meus amigos, e em especial,

ao Prof. Will, que foi o responsável por essa minha aventura no mundo da pesquisa,

ao Bira, que iniciou este trabalho

aos amigos que me ajudaram no campo, Dulce, Gilda, Nivaldo, Cláudio, Marquinhos, Margarida, Roseli, Cica, Zé

ao pessoal do café, Sú, Fú, Evandro, Tri, Cláudia, Cica, Marquinhos, Dulce, Martinho, Márcio, Dani

aos meus amigos venezuelanos, Dimas, Lina e Kika

aos demais colegas dos cursos de pós-graduação de Biologia
Vegetal e Ecologia

à minha família, pelo apoio e incentivo

ao Cláudio, pela ajuda em todas as etapas, fundamental para a
realização deste trabalho, pelo apoio, carinho e amizade

Índice Geral

Resumo

Abstract

1. Introdução

1.1. Variação em plantas.....	01
1.2. Os mecanismos de adaptação.....	04
1.2.1. Diferenciação ecotípica.....	04
1.2.2. Plasticidade fenotípica.....	08
1.2.3. Diferenciação X Plasticidade.....	12
1.3. Ambientes alterados pelo homem.....	14
1.4. Cubatão.....	16
1.5. Objetivos.....	21

2. Materiais e Métodos

2.1. Região de estudo.....	22
2.2. Áreas de estudo.....	25
2.3. As espécies de estudo.....	27
2.4. Análise química dos solos.....	29
2.5. Jardim Experimental de Cubatão.....	31
2.6. Experimentos com vasos em casa de vegetação.....	34
2.7. Análise química das plantas.....	37

3. Resultados

3.1 Análise dos solos.....	40
3.2. Desempenho de <u>Elephantopus mollis</u>	46
3.2.1. Jardim experimental de Cubatão.....	46
3.2.2. Experimentos na casa de vegetação.....	54
3.2.2.1. Comparação para populações de origens diferentes.....	54

3.2.2.2. Comparação para solos diferentes.....	62
3.3. Desempenho de <u>Phytolacca thyrsiflora</u>	69
3.3.1 Comparação para populações de origens diferentes.....	69
3.3.2. Comparação para solos diferentes.....	76
3.4. Testes de germinação.....	83
3.5. Análise química das plantas.....	89
3.5.1. teores totais.....	89
3.5.1.1. populações naturais.....	89
3.5.1.2. <u>E. mollis</u> - jardim experimental de Cubatão.....	92
3.5.1.3. <u>E. mollis</u> - casa de vegetação.....	94
3.5.1.4. <u>P. thyrsiflora</u> - casa de vegetação.....	97
3.5.2. alocação de elementos.....	100
4. Discussão.....	114
5. Literatura citada.....	136
6. Anexo.....	145

Resumo

O município de Cubatão apresenta um alto grau de degradação ambiental. Seu parque industrial, em funcionamento a partir dos anos 60, emite concentrações alarmantes de uma variedade de poluentes no ambiente, e a vegetação local apresenta sinais de sofrer os efeitos desta degradação.

Este estudo foi desenvolvido com populações de 2 espécies herbáceas, Elephantopus mollis (Asteraceae) e Phytolacca thyrsoiflora (Phytolaccaceae), com o objetivo de identificar elementos do ambiente que podem atuar como agentes seletivos e verificar que tipo de resposta as populações locais apresentam frente um ambiente adverso.

Os resultados do estudo indicaram que:

- 1- indivíduos das duas espécies estudadas, de populações de Cubatão ou de áreas não poluídas, tem seu crescimento e reprodução prejudicados quando crescem em Cubatão ou no solo de Cubatão.
- 2- o solo de Cubatão apresenta fortes fatores limitantes para o crescimento vegetal, e parece influir fortemente na redução do crescimento das plantas estudadas.
- 3- as populações locais de Cubatão das 2 espécies de planta demonstram alto grau de plasticidade, se ajustando prontamente a mudanças de condições ambientais.
- 4- a população local de Cubatão de E. mollis apresentou características de crescimento diferenciadas da população originária de área não poluída, que podem ser interpretadas como respostas adaptativas às condições estressantes, e que devem ser resultado de seleção.

5- as populações de origens diferentes de P. thyrsoflora não apresentam nenhuma diferenciação no padrão de crescimento, quando crescendo nas condições estressantes do solo de Cubatão, sugerindo que espécies com diferentes histórias de vida respondem de forma diferente ao estresse ambiental.

Abstract

The city of Cubatão suffers intense environmental degradation. Its industrial district discharges alarming concentrations of a variety of pollutants to its local environment. The local vegetation shows signs of the effects of this degradation.

This study was made with populations of two herbaceous species, Elephantopus mollis (Asteraceae) and Phytolacca thyrsoiflora (Phytolaccaceae) which inhabit around the industrial district. This work objective was to identify possible environmental elements acting as selective agents and to verify what adaptive strategies the local populations adopt to face the adversities of this environment.

The results indicate that:

- 1 - individuals of both species, either from the population of Cubatão or not, had their growth and reproduction badly affected when growing in Cubatão or soil of Cubatão.
- 2 - Cubatão soil shows strong growth limitant factors, which may contribute for the low growth of the studied species.
- 3 - Populations from Cubatão of both species showed high degree of plasticity, adjusting their growth to changing environmental conditions.
- 4 - Cubatão population of E. mollis had different growth characteristics when compared to a foreign population. The differences may be adaptive responses to the environmental stress conditions, probably due to selection process.
- 5 - Populations of P. thyrsoiflora from different origins did not show any differentiation in their patterns of growth when growing in soil

of Cubatão, what suggests that species with different life history may respond differently to environmental stress.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Variação em plantas

Plantas apresentam grande variação intraespecífica frequentemente visível em simples observações de populações no campo (Briggs & Walters, 1984).

Esta variação fenotípica pode ser morfológica ou fisiológica e tanto contínua (altura, biomassa, taxa fotossintética) como descontínua (padrão de coloração) (Briggs & Walters, 1984). As características de história de vida (germinação, produção de sementes, etc) destacadamente apresentam grande variação intraespecífica (Venable, 1984).

Os processos que ligam o genótipo ao fenótipo ainda são pouco conhecidos (Loeschcke & Wohrmann, 1984). Um genótipo pode produzir uma gama de fenótipos de acordo com o ambiente em que se encontra, e por outro lado, genótipos diferentes podem produzir um mesmo fenótipo (Jefferies, 1984). Porém, a seleção atua sobre o fenótipo, e assim é só a este nível que o genótipo tem significado ecológico (Sultan, 1987).

Afim de se estudar o papel da variação nos processos evolutivos, dois componentes da variação fenotípica são normalmente distinguidos: 1) a variação geneticamente provocada, portanto de caráter fixo e herdável, e 2) variação induzida pelo ambiente (Briggs & Walters, 1984). Esta distinção tem como objetivo identificar os efeitos genéticos e ambientais sobre as plantas e entender seus processos de

adaptação ao ambiente.

Esta distinção em dois tipos principais de variação retrata porém, um quadro simplificado da natureza da variação, pois como já foi dito, existem fortes evidências para que se entenda o fenótipo como determinado pelas interações entre genótipo e ambiente. Alguns autores como Sultan (1987), sugerem que a variação fenotípica só pode ser totalmente compreendida através do estudo das normas de reação. Todavia, componentes genéticos e ambientais da variação fenotípica, são geralmente reconhecidos, e fornecem elementos para o estudo da adaptação em plantas.

A capacidade de adaptação é fundamental para plantas. Estes são organismos sésseis e enfrentam ambientes altamente heterogêneos e imprevisíveis. Além disso, os mecanismos de dispersão também são governados por processos estocásticos, tornando desta forma, as chances de sobrevivência e melhor crescimento bastante dependentes da capacidade de se adaptar às condições externas. Segundo Sultan (1987), aspectos fundamentais da aptidão como sobrevivência e sucesso reprodutivo, podem ser resultado da natureza amplamente "fortuita" das condições de dispersão dos propágulos e do estabelecimento de novos indivíduos.

A capacidade de adaptação dos organismos, seria assim, a capacidade de dar respostas aos ambientes variáveis em que vivem. Neste sentido, a especialização a um ambiente por meio de diferenciação genética, e o ajuste do fenótipo ao ambiente por meio de respostas plásticas (plasticidade fenotípica), são mecanismos de adaptação que tem sido intensamente estudados em plantas.

Estudos que analisam estes mecanismos de adaptação em plantas tentam comparar a variação de diversas características dos indivíduos, identificar o papel adaptativo destas características e verificar a existência de mudanças de frequências gênicas (Jefferies, 1984).

Vários métodos experimentais foram desenvolvidos para se estudar a relação entre variação em plantas e o ambiente. De um modo geral, estes métodos são baseados na premissa básica de que as diferenças apresentadas por indivíduos de uma mesma espécie, quando cultivados sob um conjunto padrão de condições ambientais, seriam de base genética. O cultivo visa, portanto, investigar a base dos padrões de variação. Assim, todos os métodos são baseados na mudança ou não do fenótipo das plantas (Briggs & Walters, 1984).

Quatro procedimentos têm sido usados nos estudos tanto da variação genética em populações, como da plasticidade fenotípica (Jefferies, 1984):

- 1- transplantes recíprocos
- 2- crescimento de plantas sob condições controladas, ou em um "ambiente neutro"
- 3- respostas de plantas a perturbações no ambiente
- 4- respostas de plantas de condições ecologicamente marginais ou geograficamente periféricas

A aplicação destes procedimentos juntamente com métodos demográficos, pode fornecer informações sobre as respostas fenotípicas e aptidão reprodutiva dos indivíduos em ambientes diferentes (Jefferies, 1984), identificando o possível significado adaptativo da variação de algum caráter. Desta forma são de grande

valor na investigação dos mecanismos de adaptação.

1.2. Mecanismos de Adaptação

1.2.1. A diferenciação ecotípica

Muitos estudos têm investigado a capacidade das plantas de se adaptarem às características ecológicas de seus habitats nativos. Nestes casos, a fixação genética de caracteres adaptativos, por meio de seleção natural, conferiria a populações locais um melhor desempenho em seu habitat nativo que indivíduos da mesma espécie provenientes de outro tipo de habitat.

Populações locais bem adaptadas são chamadas de ecótipos. Como o processo de formação de ecótipos envolve os mecanismos da seleção natural, assume-se que estas populações naturais apresentam variação genética suficiente para que características adaptativas possam ser selecionadas e fixadas.

Os estudos sobre o significado de ecótipos se iniciaram no começo deste século com os trabalhos pioneiros de Kerner (1895), Johannsen (1900-7), Bonnier (1920), Turesson (1922) entre outros (citados em Briggs & Walters, 1984).

Tres proposições básicas orientavam estes trabalhos iniciais (Heslop-Harrison, 1964):

- 1- espécies de distribuição ampla apresentam variação espacial em características morfológicas e fisiológicas
- 2- parte desta variação intraespecífica pode ser relacionada com diferenças de habitat

3- a variação ecologicamente correlacionada não ocorre apenas devido a respostas plásticas ao ambiente mas também inclui um forte componente genético. Daí supõe-se que a seleção natural possa estar moldando estas populações locais a partir da variação genética disponível.

Num estudo clássico sobre a diferenciação de várias espécies de plantas ao longo de um transecto geográfico, onde fatores ambientais como extremos de temperatura e diferenças no comprimento da estação de crescimento estavam presentes, Clausen et al (1940) demonstraram a formação de ecótipos em populações geograficamente distintas e de habitats bastante diferentes. As respostas destas populações eram claramente adaptativas, correlacionadas com o habitat onde a seleção presumivelmente ocorreu.

Desde então ecótipos têm sido descritos em muitas espécies: ecótipos edáficos (Simon, 1978), em solo de serpentina e em solo normal (Kruckeberg, 1951), para fotoperíodos diferentes em diferentes áreas geográficas (Larsen, 1947), em áreas com diferentes tratamentos de ceifamento (Warwick & Briggs, 1980b), ao longo de gradientes latitudinais (Chapin III & Chapin, 1981; Potvin, 1986), em função de exposição ao vento (Bradshaw, 1971), e em relação à solos contaminados por metais pesados (Antonovics et al, 1971).

Os estudos de diferenciação ecotípica entre populações, se endereçaram predominantemente a fatores edáficos e climáticos. Mais recentemente, porém, fatores bióticos (ex: pressão de herbivoria, competição) tem sido mais abordados (Turkington & Aarssen, 1984).

Muitos dos estudos de divergência com adaptação às condições locais foram realizados em populações alopátricas sob pressões

ambientais distintas. Nestas situações o isolamento geográfico interage com a seleção, produzindo unidades subespecíficas distintas (Sultan, 1987).

A localização de ecótipos foi especialmente bem sucedida em estudos sobre as respostas de populações de plantas a ambientes extremos (temperatura, umidade, salinidade, exposição ao vento, toxidez por metais pesados) onde um único fator ambiental é aparentemente dominante (Bradshaw, 1971). Em ambientes alterados pelo homem (especialmente solos contaminados com metais pesados oriundos de rejeitos de mineração e poluição atmosférica próxima a parques industriais), estes estudos levantaram a possibilidade do uso de ecótipos adaptados na recuperação de vegetação de áreas degradadas (Smith & Bradshaw, 1979; Bradshaw & Chadwick, 1980).

Os resultados obtidos em estudos sobre a formação de ecótipos foram tão abundantes que foi levantada a idéia que uma espécie seria formada por uma "multitude de ecótipos", assumindo-se que ecótipos locais seriam a principal forma de adaptação de plantas à heterogeneidade ambiental (Briggs & Walters, 1984; Sultan, 1987). A diferenciação ecológica seria a regra (Antonovics, 1976).

Alguns estudos porém, não conseguiram identificar diferenças ecotípicas consistentes entre populações de habitats distintos (McNaughton et al, 1974; McGee et al, 1981; Gibson & Risser, 1982). Vários estudos especificamente elaborados para identificar diferenciação ecotípica não revelaram especialização genética (Warwick & Briggs, 1980a).

Os ecótipos podem não se formar por algumas razões: 1) quando respostas fisiológicas e morfológicas estão disponíveis para acomodar

as populações com sucesso nos vários habitats em que elas se encontram; 2) quando o fluxo gênico entre os diferentes habitats previne a diferenciação a despeito das pressões de seleção locais; 3) quando não existe variação genética apropriada, ou restrições filogenéticas impedem a ocorrência das mudanças fisiológicas necessárias.

Além disso, fora de ambientes extremos os habitats de plantas diferem em muitos fatores. As diferenças nestes habitats são frequentemente complexas e podem não levar à seleção direcional. Neste caso a formação de ecótipos pode não ocorrer como resposta à heterogeneidade ambiental (Sultan, 1987).

Por outro lado, o estabelecimento de diferenças de base genética entre populações não necessariamente indica que existem diferenças adaptativas selecionadas. A divergência pode ser acidental e não adaptativa, ou seja, populações geneticamente distintas podem ocorrer em sítios contrastantes sem ter padrões de respostas ecológicas correspondentes às diferenças ambientais. Tais divergências podem ser o resultado do isolamento genético da população em combinação com deriva genética, de forma que tenham produzido unidades subespecíficas independentemente da ação dos processos de seleção natural (Sultan, 1987). Desta forma se torna necessário o estabelecimento do significado adaptativo das características que estão sendo observadas (Antonovics, 1984).

1.2.2. Plasticidade fenotípica

Outro tipo de mecanismo de adaptação apresentado por plantas é a plasticidade fenotípica. Esta seria a capacidade das plantas ajustarem seu fenótipo a condições ambientais adversas. Se refere portanto, à variação na expressão fenotípica de um genótipo em resposta a condições ambientais definidas (Bradshaw, 1965; Sultan, 1987).

Em geral, as plantas apresentam mais plasticidade fenotípica que animais superiores. Provavelmente a presença de um meristema com atividade contínua expõe mais as plantas a condições capazes de induzir variações por um período de vida maior (Briggs & Walters, 1984).

A plasticidade é um fenômeno importante e de ampla ocorrência entre plantas, porém, tem sido relativamente pouco entendida e estudada (Bradshaw, 1965; Briggs & Walters, 1984; Jefferies, 1984; Sultan, 1987). Isto talvez se deva ao fato de que com o grande número de estudos que evidenciavam a formação de ecótipos tenha-se acreditado ter sido encontrado um modelo real e fácil para o entendimento dos processos microevolutivos em populações de plantas. Vários estudos, porém, que buscaram encontrar ecótipos acabaram encontrando populações altamente plásticas (Warwick & Briggs, 1980a), gerando atualmente, a busca de um maior entendimento da ocorrência, manutenção e seleção da plasticidade fenotípica.

Bradshaw (1965) levantou alguns pontos relevantes para a compreensão da natureza e implicações evolutivas da plasticidade fenotípica:

1- A extensão da plasticidade fenotípica varia entre taxa diferentes, por exemplo, dentro de um mesmo gênero de plantas aquáticas, umas espécies podem apresentar heterofilia e outras não. Entre populações de uma mesma espécie também existem diferenças no grau de plasticidade, uma população pode apresentar mais respostas plásticas que outra para o mesmo caráter.

2- Diferentes caracteres do fenótipo mostram graus diferentes de plasticidade. A plasticidade de um caráter é uma propriedade independente do próprio caráter. Há portanto a necessidade de se examinar diversos caracteres quando se está estudando possíveis respostas plásticas. Clausen et al. (1940) verificaram níveis de plasticidade marcadamente diferentes, para diferentes caracteres em populações contrastantes em condições diferentes.

3- A plasticidade fenotípica parece estar sob controle genético. O estudo de plantas aquáticas (Ranunculus e Polygonum) que exibem heterofilia, indicam que indivíduos num mesmo ambiente apresentam respostas plásticas em graus diferentes, sugerindo que a extensão da plasticidade fenotípica estaria sob controle genético (Turesson, 1961; Mitchel, 1968 em Briggs & Walters, 1984).

Assim, o fato da plasticidade ser em parte geneticamente controlada, e do controle ser específico para cada caráter, indica que o grau de plasticidade de um caráter pode evoluir por seleção natural, não sendo simplesmente uma consequência direta da ação do ambiente (Bradshaw, 1965). Portanto, o espectro de respostas fenotípicas possíveis apresentadas por um indivíduo seria uma adaptação de base genética, evoluída por meio de seleção em uma série de ambientes (Bradshaw, 1965; Via & Lande, 1985; Schlintching, 1986;

Sultan, 1987).

Alguns caracteres tendem a ser mais plásticos e outros mais estáveis. Caracteres florais e forma da inflorescência têm na constância significado adaptativo e variações poderiam causar redução de aptidão. Por outro lado, existem muitas situações onde a plasticidade de um caráter pode ter um valor adaptativo alto. Respostas fenotípicas plásticas podem envolver caracteres morfológicos e fisiológicos. Muitas envolvem mudanças no tamanho e no número das partes das plantas, que são modificações que modulam o crescimento e desta forma podem afetar a sobrevivência e a aptidão reprodutiva dos indivíduos (Jefferies, 1984). O valor adaptativo da plasticidade foi documentado em várias circunstâncias. Por exemplo, plasticidade no tamanho de plantas em estresse de densidade (citados em Harper, 1977). Populações em densidades diferentes podem produzir números semelhantes de sementes por unidade de área. Assim, em locais mais densos a redução no tamanho do indivíduo pode provocar a produção de um menor número de sementes, mas de tamanho e viabilidade normal, evitando assim uma maior mortalidade de plântulas e promovendo um ajuste plástico na população. Em situações onde ocorrem extremos de temperatura ou limitação de água e nutrientes também foram registradas respostas plásticas na alocação de biomassa de natureza adaptativa (Chabot, 1978; Mooney & Gulmon, 1979; Sultan, 1987).

Deste modo, a plasticidade pode ser uma propriedade adaptativa. As respostas fenotípicas dadas por um genótipo em resposta a condições ambientais, podem aumentar a aptidão, conferir vantagem seletiva e se constituir num componente da adaptação evolutiva em

plantas (Bradshaw, 1965; Briggs & Walters, 1984; Sultan, 1987).

Porém, nem sempre a variação fenotípica observada no campo e nem toda resposta plástica é claramente adaptativa (Bradshaw, 1965).

A plasticidade deve ser favorecida quando o ambiente é muito imprevisível e heterogêneo. Raramente as plantas estão crescendo em condições ótimas e é frequente que estresses do ambiente possam reduzir a aptidão da população. Assim, pode haver seleção para que o indivíduo possa continuar a sobreviver sob condições difíceis. De fato, a evolução da plasticidade em plantas pode ter ocorrido devido às características da natureza fortuita e passiva da forma de dispersão e do hábito sésstil, combinadas à heterogeneidade ambiental, espacial e temporal, alta (Sultan, 1987).

Por outro lado, uma das maiores implicações evolutivas da plasticidade fenotípica é a de tamponar os efeitos da seleção natural em moldar subunidades geneticamente especializadas, por meio do ajuste ao ambiente imediato, assim reduzindo as diferenças de aptidão entre genótipos e prevenindo a eliminação seletiva de indivíduos e seus genes (Bradshaw, 1965; Sultan, 1987). Analisando os limites para seleção natural, Antonovics (1976) afirma que a variabilidade genética insuficiente e os efeitos do tamponamento do fluxo gênico, são explicações simples e inadequadas.

A maioria das populações de plantas mostram enorme variação nos fenótipos em relação aos componentes da história de vida que afetam a aptidão como por exemplo idade de maturidade (Stearns, 1984) e herdabilidade baixa para essas características (Schaal & Leverich, 1984). Há poucas evidências que diferenças individuais de crescimento e reprodução sejam genéticas, e muita evidência de que

sejam determinadas por influências ambientais (Sarukhán et al., 1984). Assim, se a plasticidade pode aumentar a aptidão, ela aumenta o peso do componente ambiental da variação, reduzindo a variação herdável embora ela própria possa estar sob controle genético (Venable, 1984).

1.2.3. Diferenciação X Plasticidade

Para uma boa caracterização dos processos evolutivos é essencial considerar os mecanismos de mudança de frequência gênica e também examinar as respostas ambientais como um outro aspecto da adaptação em plantas. De um modo geral, acredita-se que a evolução de ecótipos tenha maior ocorrência em áreas de ambiente extremo onde as pressões de seleção são bastante altas e uniformes (ex.: contaminação de metais pesados em solos), dando condições para a fixação de alelos antes existentes em frequência baixa (Jain, 1979; Briggs & Walters, 1984). A heterogeneidade espacial do ambiente provavelmente só pode ser acompanhada geneticamente nestes casos de pressões de seleção altas e constantes. Como Antonovics et al. (1971) apontam, os habitats contaminados com metais pesados fornecem os melhores exemplos de divergência seletiva precisamente porque têm um único fator ambiental preponderante, o qual é espacialmente distinto e temporalmente constante.

Quando a variação ambiental temporal ou espacial ocorre em escala fina (normalmente ambientes não extremos), é mais difícil haver um acompanhamento genético por meio de especialização devido à imprevisibilidade das condições. A flexibilidade de desenvolvimento

do fenótipo parece permitir que uma população suporte melhor a incerteza ambiental, sem ocorrer uma reconstrução genética (Jefferies, 1984). A plasticidade fenotípica seria portanto, favorecida em ambientes heterogêneos ou sujeitos a alterações imprevisíveis. Nestes ambientes a maior vantagem está em poder responder rapidamente e adequadamente às mudanças emergentes (Jain, 1979; Briggs & Walters, 1984; Jefferies, 1984; Sultan, 1987).

Espécies colonizadoras de sítios perturbados, de distribuição ampla e contínua com alto fluxo gênico e de vida longa, devem enfrentar mais heterogeneidade ambiental que espécies raras, disjuntas, ou endêmicas com baixo fluxo gênico, e por isso normalmente se adaptam ao ambiente por meio de plasticidade (Sultan, 1987).

A nível populacional existe uma complexa e dinâmica influência mútua de diversidade genética e plasticidade fenotípica (Schaal & Leverich, 1984). Segundo Daubenmire (1974) "mesmo aqueles caracteres que são geneticamente fixados como opostos aos ambientalmente induzidos não são imunes à influência ambiental, mas nestes caracteres os efeitos do ambiente se tornam sobrepostos aos efeitos da hereditariedade". Em alguns trabalhos onde foram verificadas diferenças genéticas entre populações, observou-se que as diferenças locais "fixadas" podiam ser mascaradas pela modificação ambiental (Grace & Wetzel, 1981; McGee et al., 1981; Hurka, 1984; Schaal & Leverich, 1984).

O mais provável é que organismos em ambientes variáveis devam ser diversos fenotipicamente tanto como produto de plasticidade como de polimorfismo genético (Levins, 1968), e uma vez que o grau de

plasticidade é característico de cada caráter do fenótipo, o potencial de desenvolvimento para resposta plástica pode existir em certos caracteres e genótipos, enquanto em outros pode haver limitações à este tipo de resposta e a especialização genética ser favorecida seletivamente (Bradshaw, 1965; Sultan, 1987).

Assim, o estudo das maneiras pelas quais as plantas respondem às mudanças, e qual o papel da variação nestas respostas, pode fornecer uma melhor compreensão da microevolução. Se a maior variação fenotípica aumenta a amplitude ecológica de uma espécie e qual componente da variação determina esta habilidade, são perguntas ainda fundamentais.

Se os componentes ecológicos são identificados podemos passar a investigar também como o estresse e o distúrbio impactam e selecionam as diferentes características de história de vida em plantas (Venable, 1984).

1.3. Ambientes alterados pelo homem

O homem moderno exerce diversas atividades que concorrem para a alteração radical de muitos ambientes. Muitos estudos sobre variação e evolução em plantas foram conduzidos em comunidades alteradas: estudos com introdução de plantas, culturas agrícolas, plantas invasoras e vegetação de áreas sujeitas à poluição (Bradshaw & McNeilly, 1981). Estes ambientes podem fornecer condições ideais para certos tipos de estudos.

Áreas contaminadas tem sido muito utilizadas em estudos devido a possibilidade dos poluentes terem efeitos genéticos e evolutivos

sobre as plantas (Pitelka, 1988). Sabe-se que nestas situações diferentes espécies ou populações respondem diferentemente ao estresse e apresentam sensibilidade diferente aos poluentes (Reinert, 1984).

A maioria dos abundantes estudos de adaptação a poluentes antropogênicos foram feitos em áreas onde as pressões de seleção são muito altas (ambientes extremos com um único fator dominante). Nestes locais os poluentes agem como uma importante força seletiva e os coeficientes de seleção são bastante altos, resultando normalmente em evolução rápida de resistência aos poluentes.

Estas situações são comuns em:

- 1- contaminação dos solos por metais pesados em áreas de mineração (Allen & Sheppard, 1971; Antonovics et al., 1971; Baker, 1978; Hogan & Rauser, 1979; Pollard, 1980; Karataglis, 1982 e Dorrington & Pyatt, 1983), ou de siderurgia (Coughthrey & Martin, 1977, 1978; Foy et al, 1978; Cox & Hutchinson, 1980; Somashekar et al. 1982; Zwózdziak & Zwózdziak, 1982);
- 2- poluentes gasosos (principalmente SO₂) provenientes de parques industriais (Ayazloo & Bell, 1981);
- 3- uso intenso de fertilizantes (Davies, 1975).

Estes trabalhos resultaram em muitos estudos sobre a capacidade de evolução de tolerância a vários metais como Pb, Co, Cu, Zn, Ni, Cd, As, Al, Mn, Fe, Hg (Foy, 1976; Simon, 1977; Walsh et al., 1979; Hall, 1980; Karataglis, 1982; Macnair & Cumbes, 1987 e Shaw et al., 1987).

Estudos sobre tolerância podem elucidar a rapidez da mudança genética, por exemplo, uma população de Agrostis stolonifera evoluiu

tolerância a Cobre em apenas oito anos, sugerindo que a adaptação a novas condições pode ser rápida (Briggs & Walters, 1984).

São mais comuns, porém, outras situações onde os níveis de poluição, embora crônicos, são bem mais baixos: poluição em beira de estrada, em áreas não tão fortemente urbanizadas ou industrializadas ou periféricas a estes centros. Nestas áreas, os coeficientes de seleção são bastante inferiores, a menos que se esteja muito próximo à fonte de emissão da poluição (Pitelka, 1988). Porém, é claramente pertinente procurar ver se estão ocorrendo mudanças evolutivas nas populações destes ambientes em função dos efeitos dos poluentes (Wu & Antonovics, 1976).

A intensidade de seleção existente nos ambientes alterados pelo homem é importante de ser reconhecida porque pode provocar o aparecimento de diferentes adaptações nas plantas. As respostas do genótipo aos níveis agudos de poluição podem não se correlacionar com as respostas dadas a níveis mais baixos, porém crônicos (Crittenden & Read, 1979; Baker et al., 1987 e Pitelka, 1988).

1.4. Cubatão

Cubatão é um município brasileiro que se notabilizou pelo alto grau de degradação ambiental (Kucinsky, 1982). Se localiza na baixada santista (SP), a 16 Km de Santos, entre uma extensa região de mangue e as encostas da Serra do Mar (Cetesb, 1985a).

A Serra do Mar tem como cobertura vegetal a Mata Atlântica e apresenta uma dinâmica bastante instável devido a movimentos coletivos de solo, tais como escorregamentos e deslizamentos

(Bragança et al, 1987). Os movimentos de solo ocorrem devido a alta pluviosidade e temperatura local que geram rápida intemperização das rochas nas vertentes da Serra, geralmente de declividade acentuada. Em condições normais, porém, a estabilização das cicatrizes abertas nas encostas ocorre de maneira rápida através da recolonização, pelas espécies vegetais nativas (Bragança et al, 1987).

A colonização humana na região de Cubatão é antiga, com registros do início do século XVI (Petrone, 1965). O local serviu inicialmente como área de transbordo de pessoas e mercadorias (com caráter aduaneiro), passando posteriormente por um período de exploração agrícola (cana de açúcar e banana) embora sem muita expressão. Nos manguezais houve a instalação de curtumes (Goldenstein, 1965).

No final do século passado e início deste algumas indústrias de pequeno porte começaram a se instalar na região, mas a real modificação da estrutura econômica iniciou na década de 50, com a decisão de se instalar em Cubatão um grande parque industrial. A escolha deste local deveu-se as facilidades de infra-estrutura, notadamente a proximidade com o porto de Santos (porta de entrada de matéria-prima), e a existência de uma malha viária que proporcionava conexão fácil com o parque industrial do planalto paulistano (a 57 Km). O parque industrial de Cubatão foi planejado para que indústrias de bens de produção processassem a matéria-prima para as indústrias do planalto (Goldenstein, 1965).

Em 1954 entrou em funcionamento a Refinaria de Petróleo Presidente Bernardes e em 1962 instalou-se a Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA). Até o final da década de 60, a maioria dos 23

complexos industriais atualmente existentes em Cubatão, já estavam em funcionamento. Em sua maioria são indústrias químicas, petroquímicas e de fertilizantes, geralmente de grande porte (Kucinsky, 1982).

Assim, a perturbação ambiental em Cubatão é antiga, porém, antes da implantação efetiva do parque industrial era restrita, se limitando aos pontos onde se exerciam atividades humanas tais como desmatamentos para a construção de vias públicas e exploração de palmito, ou nas áreas de acesso a estas atividades (França, 1965; Bragança et al, 1987). As matas secundárias ocupavam os locais utilizados no passado para a prática agrícola, em geral terrenos acidentados, mas relativamente baixos (inferiores a 400m) (França, 1965; Queiroz Neto & Kupper, 1965). A invasão destas áreas perturbadas foi feita por plantas de outras associações litorâneas, do Planalto, e também por espécies cosmopolitas ruderais (Andrade & Lamberti, 1965). Como as encostas da Serra não eram aproveitadas economicamente de forma sistemática, a vegetação destas áreas conservou-se relativamente bem, até então. As queimadas também eram raras (França, 1965).

Entretanto, a partir da instalação do parque industrial, o processo de degradação da Serra do mar torna-se mais intenso, conforme observado por Bragança et al (1987) através de fotografias aéreas de 1962, 1972, 1977, 1980, 1985. Este estudo constatou que a degradação da vegetação era modesta no início da década de 60, aumentando rapidamente nos anos 70 e atingindo grandes extensões em 1980. As áreas com degradação da vegetação foram identificadas por apresentarem menor diversidade de espécies, e pela substituição do extrato arbóreo pelo arbustivo.

O estudo também verificou que a medida que a cobertura vegetal se deteriora, aumentam os processos erosivos e a frequência dos escorregamentos e deslizamentos. Concomitantemente, a partir de 1972, as cicatrizes abertas nas encostas por escorregamentos próximas ao parque industrial, apresentam baixa recolonização vegetal natural indicando dificuldades na instalação das plantas nestes locais.

A degradação da vegetação da Serra do mar tem sido atribuída ao impacto de poluentes atmosféricos originários do parque industrial (Galvão Filho et al, 1985; Galvão Filho, 1987; Bragança et al, 1987).

De fato, as indústrias instaladas em Cubatão são altamente poluidoras e alguns poluentes possuem conhecida ação fitotóxica (Kucinsky, 1982; Queiroz Neto et al, 1984). Em 1981 estimou-se que o complexo industrial emitia para a atmosfera cerca de 1000 ton/dia de diversos poluentes assim distribuídos: 50,8% de gases inorgânicos (SO_2 , NO_2 , CO, fluoretos); 37,0% de material particulado (poeira carregada de espécies químicas resultantes dos processos industriais); 11,8% de substâncias orgânicas (tolueno, benzeno, etc) e 0,4% de ácidos (HCl , H_2S , H_2SO_4) (Salvador Filho et al, 1981).

Os elementos químicos componentes do material particulado também são de grande variedade: P, Mg, Al, Si, S, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, e se apresentam em concentrações bastante elevadas, mesmo se comparadas a outros centros industriais de grande porte como o da grande São Paulo (Gepa, 1982).

Além da poluição atmosférica, os efluentes industriais também contaminam as águas de superfície, sedimentos e organismos aquáticos animais com metais pesados como Hg, Cu, Cr, Zn e Pb (Cetesb, 1985a).

Embora diversas pesquisas estejam sendo realizadas investigando

diferentes aspectos das condições ambientais de Cubatão, tais como a dispersão dos poluentes (Gepa, 1982; Cetesb, 1985a), questões de saúde pública (Monteleone Neto, 1982; Naoun, 1982), monitoramento da poluição (Gutberlet, 1988), etc, ainda não existem estudos consistentes sobre os possíveis efeitos dos poluentes sobre a vegetação da Serra do Mar. A maioria das pesquisas apenas determina as concentrações de diversos elementos químicos na vegetação e no solo de áreas contrastantes. Oliveira & Joly (1984), por exemplo, encontraram em solo da região do parque industrial, concentrações de Cu, Zn, Fe e Mn pelo menos duas vezes maiores do que as encontradas no solo de uma área não poluída no município do Guarujá. Akker & Groeneveld (1982) encontraram nas áreas poluídas de Cubatão concentrações elevadas de Ca, Al, PO_4 , Cu, Mn, Mg e Na nos solos; Pb, S e Fe foram especialmente abundantes nas folhas, enquanto Ca, Fe, K e Mn foram encontrados depositados nas superfícies das folhas. Foi inferido um acúmulo de Fe nas plantas, supostamente por absorção foliar. Outro estudo (Cetesb, 1982) encontrou em uma área poluída de Cubatão, concentrações mais altas de P, N, Mn, Zn, e Ca em folhas e folheto, em comparação com áreas não poluídas da região, além de solos ácidos, pobres em nutrientes e com acúmulo de enxofre.

Por fim, vale ressaltar que em 1977 a Serra do Mar foi transformada em Parque Florestal Estadual por possuir atributos de grande valor científico e cultural. O objetivo da criação do parque foi assegurar integral proteção a flora e fauna e garantir sua utilização para fins educacionais, recreativos e científicos (Cetesb, 1985a). É portanto, reconhecidamente um patrimônio público de grande importância.

1.5. Objetivos

Os objetivos básicos do trabalho foram: 1) observar como algumas populações locais de plantas herbáceas respondem ao estresse imposto pelas condições ambientais de Cubatão, 2) identificar possíveis respostas adaptativas desenvolvidas frente a estas condições, 3) verificar os mecanismos de adaptação apresentados pelas populações estudadas, 4) contribuir para o melhor entendimento dos efeitos da poluição sobre a vegetação da Serra do Mar.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Região de estudo

O município de Cubatão apresenta uma topografia irregular, que se constitui de serras e morros (58%), vales, planícies e manguezais. Em consequência, o parque industrial ocupa um espaço restrito, predominantemente áreas de solos mais firmes no sopé dos morros da Serra do Mar (Cetesb, 1985a).

O clima da região é sub-tropical constantemente úmido, com precipitação anual média em torno de 2300 mm/ano (em alguns pontos da Serra pode chegar a 4000 mm/ano). A temperatura anual média é de 22°C, porém ocorrem fortes variações, especialmente no inverno devido às quedas de temperatura. A umidade relativa do ar é sempre elevada, com média de 70-90 % ao longo do ano (Queiroz Neto & Kupper, 1965; Cetesb, 1985a).

A Serra do Mar é um embasamento cristalino composto principalmente de rochas do tipo gnaiss, granito e xistos. Em Cubatão as encostas são bastante altas atingindo até 1000 m de altura e apresentam declividade acentuada. O forte intemperismo, gerado pelo clima quente e úmido do local, combinado com a declividade resulta em escorregamentos de solos nas regiões íngremes (Rodrigues, 1965; Queiroz Neto & Kupper, 1965).

Os solos são pouco desenvolvidos e de espessura reduzida. Nas encostas dos morros e escarpas são do tipo litossolo ou latossolo

vermelho-amarelo (Queiroz Neto & Kupper, 1965; Ministério da Agricultura, 1960).

O regime de ventos obedece um ciclo diário, associado principalmente ao comportamento das brisas terrestres (noturnas) e marítimas (diurnas).

As condições geoclimáticas de Cubatão são desfavoráveis à dispersão dos poluentes atmosféricos originários do parque industrial, sejam eles gasosos ou particulados (Rossin et al, 1983). De dia os ventos predominantes deslocam os poluentes em direção às encostas da serra. Estes ficam aí represados pois a escarpa se constitui numa barreira à dispersão. A noite os ventos predominam no sentido inverso, mas a baixas velocidades. Assim, as condições da região favorecem o deslocamento e a concentração dos poluentes sobre as encostas da Serra do Mar (Cetesb, 1985a).

Por outro lado, o regime de precipitação intensa característico da região facilita a transferência dos poluentes do ar para o solo e águas superficiais (Queiroz Neto et al, 1984; Gepa, 1982; Cetesb, 1985b).

A região urbano-industrial de Cubatão divide-se em duas sub-bacias aéreas quase independentes entre si, pois são ligadas apenas por um estreito canal. A sub-bacia denominada Cubatão-centro contém a área urbana do município propriamente dita, a refinaria de petróleo e cerca de outras dez indústrias de menor porte. A sub-bacia de Vila Parisi, contém este núcleo residencial cercado pela siderúrgica (COSIPA) e indústrias de fertilizantes (Gepa, 1982).

A dispersão dos poluentes não é favorecida em nenhuma das duas sub-bacias mas as condições são piores em Vila Parisi, pois esta está

quase completamente envolvida por montanhas elevadas (Gepa, 1982).

Assim, em Cubatão existe uma heterogeneidade quanto à distribuição espacial das fontes poluidoras, e das concentrações dos poluentes na atmosfera. Em Cubatão-centro predominam as emissões de poluentes produzidos na combustão de petróleo e seus derivados (principalmente SO_2) (Gepa, 1982; Cetesb, 1985a). Segundo Miller (1985) Si, Ca, Al e Fe também estão presentes na atmosfera desta sub-bacia com teores elevados. Em Vila Parisi predomina o material particulado (poeiras de rochas fosfáticas e siderúrgicas), além de SO_2 e fluoretos (Salvador Filho et al, 1981; Gepa, 1982). O material particulado se apresenta em concentrações excessivas em Vila Parisi devido ao predomínio das indústrias de fertilizantes e da siderúrgica (Gepa, 1982; Cetesb, 1985a).

As indústrias de fertilizantes utilizam a rocha fosfática como matéria-prima e há uma alta correlação entre os doze elementos mais presentes no material particulado de Vila Parisi (Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Sr) e a constituição da rocha fosfática. Particularmente P, Ca, Ti, V, Mn devem se originar exclusivamente da rocha fosfática. Outros metais (Cr, Ni, Cu, Zn, Zr) também estão presentes em quantidades elevadas no material particulado de Vila Parisi (Gepa, 1982; Kerr, 1983).

Por outro lado, as águas de chuva refletem em grande parte as condições atmosféricas existentes, de forma que sua composição química se relaciona diretamente com a composição química do ar (Moreira-Nordemann et al, 1983; Cetesb, 1985a). Algumas pesquisas verificaram que as águas de chuva estão poluídas tanto em Cubatão-centro como em Vila Parisi (Cetesb, 1984; 1985b; Abbas, 1989), porém

a concentração iônica é maior em Vila Parisi. Os teores de PO_4 , SO_4 , NH_4 , Fe e F são elevadíssimos em Vila Parisi, entre os maiores registrados no mundo (Cetesb, 1984). Além destes, Ca, Mn, Zn e Fe também são bastante elevados e mais concentrados em Vila Parisi que em Cubatão-centro.

As concentrações iônicas das chuvas em Cubatão concordam bem com as concentrações do material particulado (Moreira-Nordemann et al, 1983) e parecem estar relacionadas principalmente com as atividades industriais locais. Certamente as altas concentrações de Ca e PO_4 nas águas de chuva em Vila Parisi tem origem na rocha fosfática (Cetesb, 1985b).

As chuvas em Cubatão-centro se apresentam fortemente ácidas, com valor médio em torno de 4,20, porém em Vila Parisi tendem da neutralidade à alcalinidade com média em torno de 6,20 (Moreira-Nordemann et al, 1983). Supõe-se que o alto pH apresentado pelas águas de chuva em Vila Parisi seja o resultado da influência das altas concentrações de PO_4 (Moreira-Nordemann et al, 1983; Abbas, 1989). Assim, embora muito poluídas, as águas de chuva de Vila Parisi não se apresentam ácidas.

2.1. As áreas de estudo

Duas áreas foram utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho, uma em Cubatão e outra em Campinas na Reserva Municipal de Santa Genebra. A área de estudo de Cubatão pertence à "Copebrás/SA", que se localiza na sub-bacia de Vila Parisi no Km 62 da rodovia Cubatão-Piaçaguera. Esta indústria começou a funcionar em 1958

fabricando negro de fumo, produto básico na indústria de borracha particularmente pneumáticos, utilizando como matéria-prima um óleo, resíduo do refinamento do petróleo (Goldenstein, 1965). Atualmente além do negro de fumo produz ácido fosfórico, sulfúrico e formulações de fertilizantes, utilizando a rocha fosfática como matéria-prima.

A região em que se localiza a Copebrás apresenta continuamente concentrações elevadas de material particulado, além de ser poluída por SO_2 (Cetesb, 1985a). A Copebrás particularmente, emite para o ambiente estes dois poluentes além de flúor (Galvão Filho et al, 1985).

As encostas da Serra do Mar que fazem fundos com a indústria, formam neste local o Vale do Rio Mogi, e estão relacionadas entre os pontos mais afetados pela poluição em Cubatão.

O local de estudo, propriamente, está situado atrás do setor administrativo da empresa, na parte basal de um dos morros da Serra do Mar. A vegetação local é constantemente perturbada por atividades humanas como desmatamentos, e constitui-se basicamente de dicotiledôneas herbáceas e arbustivas, gramíneas e samambaias. As partes mais altas dos morros da área de estudo apresentam vegetação arbórea visualmente menos perturbada, porém com alguns sinais de degradação, como troncos secos e áreas de pequenos deslizamentos.

A outra área utilizada neste estudo, a "Reserva Municipal de Santa Genebra" está localizada no distrito de Barão Geraldo, Campinas, SP. A região está a uma altitude de cerca de 700 m e apresenta um clima sub-tropical onde o inverno é seco e não rigoroso e o verão é quente e chuvoso. A temperatura média anual está em torno de $20,6^{\circ}C$ e a precipitação média em torno de 1371 mm/ano

(Castellani, 1986).

A reserva é uma floresta residual, cercada por culturas agrícolas, principalmente algodão e milho. A área total é de 200 hectares. A floresta é mesófila semi-decídua de região de planalto (Castellani, 1986).

O objetivo de utilizar a área de Sta Genebra foi o de comparar em diversas situações experimentais, o desempenho de indivíduos originários desta área, aparentemente não expostos a poluição química de origem antropogênica, com o desempenho de indivíduos originários de Cubatão.

Nas duas áreas de estudo foram feitas: 1) coletas de solo e de indivíduos das populações naturais das espécies vegetais estudadas, para determinação de seus elementos químicos constituintes, e 2) coleta de sementes para produção de mudas e para testes do potencial de germinação.

2.3. As espécies de estudo

As duas espécies estudadas, Elephantopus mollis H.B.K. (Asteraceae) e Phytolacca thyrsoiflora Fenzl ex Schmidt (Phytolaccaceae) eram abundantes em ambas áreas de estudo no início do trabalho.

E. mollis e P. thyrsoiflora têm características de plantas pioneiras, sendo espécies de ampla distribuição, especialmente E. mollis. Esta planta é uma herbácea perene de folhas simples. As folhas basais se dispõem em roseta e o escapo floral apresenta

capítulos com flores brancas protegidas por brácteas bem desenvolvidas. Indivíduos de E. mollis podem ser encontrados praticamente em qualquer época do ano, porém a espécie torna-se mais abundante entre abril e julho, época de maior frutificação. O aquênio tem entre 2,5-2,7 mm de comprimento por 0,6-0,7 mm de largura exclusive o papo (Leitão Filho et al, 1975). Os indivíduos de E. mollis são eretos e atingem uma altura entre 80-100 cm, com grande quantidade de folhas basais, embora exista muita variação e indivíduos divergentes sejam encontrados com frequência. E. mollis apresenta reprodução por sementes e rebrota a partir de caules aparentemente secos. Ocorre em áreas perturbadas, campos e gramados nos estágios iniciais de sucessão.

P. thyrsoiflora é uma espécie herbácea, anual, ereta, que apresenta caule verde ou avermelhado, folhas simples, alternas e pecioladas. A inflorescência é terminal paniculiforme e as flores rosadas. O fruto é do tipo baga, de coloração vermelho-purpúreo quando maduro e contém 5-7 sementes de 2,3-3,1 mm de comprimento por 2,0-2,5 mm de largura (Bacchi et al, 1984). A planta torna-se abundante entre janeiro e junho. A espécie parece reproduzir exclusivamente por semente. O ciclo é de 150-180 dias. Atinge normalmente uma altura de 100-150 cm. Ocorre muito comumente em beira de estrada e tem preferência por solos úmidos e arenosos.

2.4. Análise química dos solos

A fim de se obter informações acerca das características químicas dos solos de Cubatão e Santa Genebra onde se desenvolviam as populações naturais das espécies estudadas, foram feitas determinações de vários elementos químicos componentes.

Para a coleta das amostras de solo utilizou-se um trado de metal com 2 cm de diâmetro.

Tres áreas foram amostradas, duas localizadas dentro da área de estudo de Cubatão e uma em Santa Genebra:

Amostra nº 1: Cubatão- coletada na área da Copebrás onde se encontra a população de E. mollis.

Amostra nº 2: Cubatão- coletada na área da Copebrás onde se encontra a população de P. thyrsiflora.

Amostra nº 3: Campinas- coletada ao longo da trilha que cerca a mata de Santa Genebra onde existem populações de P. thyrsiflora e E. mollis.

A coleta foi feita tomando-se amostras de solo dentro dos limites naturais da área das populações das plantas. As amostras foram tomadas de forma regular com um ponto de amostragem por cada parcela de metro quadrado de área. Nestes pontos de amostragem o trado era enterrado até uma profundidade de aproximadamente 10 cm onde ocorre a maior parte do enraizamento das plantas. O solo retirado era armazenado em sacos plásticos. Todo solo retirado de pontos de amostragem de uma mesma área foi misturado e armazenado juntamente. Ao final obteve-se 700-900 g de amostras de solo para cada área de coleta.

As três amostras de solo foram analisadas pelo Prof. Takashi Muraoka da seção de fertilidade do solo do Centro de Energia Nuclear para Agricultura (CENA) de Piracicaba-SP.

A análise para teor disponível, que procura determinar as concentrações de elementos no solo possivelmente disponíveis (solúveis ou trocáveis) para a absorção de plantas, foi feita com sub-amostras de 5 g de solo moído, peneirado e homogeneizado tratadas conforme indicado no quadro abaixo:

EXTRAÇÃO	ELEMENTOS	LEITURA
HCl 0,1N	Cu, Fe, Zn, Mn, Sr	espectrômetro de absorção atômica
HCl 0,05N	Ca, Mg	espectrômetro de absorção atômica
HCl 0,05N	K, Na	fotometria de emissão
KCl 1N	Al, H ⁺	titulação
H ₂ SO ₄ 0,05N	PO ₄	colorimetria
H ₂ SO ₄ +Li ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂	N Total	destilação, titulação
-	C	titulação
Água 2,5 : 1	pH	pHmetro

2.5. Jardim experimental de Cubatão

O jardim experimental visou fazer uma análise comparativa do desempenho das duas populações de origens diferentes de E. mollis (Cubatão e Sta Genebra) quando plantadas nas condições ambientais existentes na área de estudo de Cubatão.

O jardim experimental foi instalado na área da Copebrás em julho de 1987 usando-se mudas de E. mollis. O desenho utilizado foi de blocos aleatorizados (modificado de Zar, 1984). O jardim com dimensões de 8 x 5 m foi composto de 14 blocos com 2 parcelas cada. Em cada parcela de 1 x 1 m foram plantadas 4 mudas.

Em todos os blocos, uma parcela foi destinada a receber mudas de E. mollis provenientes de sementes de Santa Genebra, e a outra parcela, mudas de sementes de Cubatão. As parcelas foram sorteadas para a atribuição da origem das mudas. Cada muda distou em 0,25 m de seu vizinho mais próximo.

As mudas foram preparadas em casa de vegetação, em vasos contendo solo de Cubatão. Todas as mudas transferidas para o jardim experimental tinham a mesma idade, porém variavam no estado de desenvolvimento. O total de mudas plantadas foi portanto de 112, 56 originárias de Cubatão e 56 de Sta Genebra.

Esquema do jardim experimental

BLOCOS		BLOCOS	
parc	parc	parc	parc
1	2	1	2
2	1	1	2
1	2	1	2
2	1	1	2
1	2	1	2
2	1	2	1
1	2	1	2

* parc = parcelas
 1 = plantas de Cubatão
 2 = plantas de Santa Genebra

As visitas ao jardim experimental foram feitas com a frequência aproximada de tres semanas, ocasiões em que foram tomadas as medidas referentes ao estado de desenvolvimento das plantas: altura da planta, número de folhas verdes, número de folhas secas, número de ramos, número de inflorescências, presença de flores e frutos. As plantas invasoras foram retiradas do jardim a cada visita.

Quando a maior parte das plantas mostrou sinais de senescência (folhas e ramos secos), todas as plantas foram escavadas e retiradas do campo e levadas ao laboratório onde foram lavadas e separadas em partes: raiz, caule, folhas vivas, folhas mortas, inflorescências e

sementes. A exceção das sementes, as outras partes das plantas foram lavadas e secas em estufa a 70°C por 72 horas. Posteriormente tomou-se o peso seco das várias partes e o material foi, em seguida, moído e preparado para análise química.

Uma análise de variância foi aplicada aos dados obtidos afim de se verificar possíveis diferenças nos parâmetros de desenvolvimento entre as populações de origens diferentes.

As sementes produzidas por cada planta do jardim experimental foram pesadas e tiveram o seu número estimado através do peso de grupos de 100 sementes para cada indivíduo. 100 sementes (ou quantas produzidas) de cada indivíduo foram usadas em testes de germinação para se verificar a viabilidade. As sementes foram colocadas em placas Gerbox em uma câmara de germinação, sob luz permanente a 25°C, e examinadas diariamente. Ao final calculou-se as porcentagens médias de germinação para cada tratamento.

Para testar o potencial de germinação das sementes provenientes das populações naturais de Cubatão e Santa Genebra, utilizou-se basicamente o mesmo procedimento descrito acima, porém com a preparação de seis placas com 20 sementes cada uma, totalizando 120 sementes por tratamento.

Com os dados de peso das partes das plantas, pôde-se calcular as proporções de biomassa das diferentes partes, e o esforço reprodutivo de cada indivíduo. O esforço reprodutivo foi calculado como a biomassa das partes reprodutivas/biomassa total (Silvertown, 1982).

Uma análise de variância multivariada foi efetuada para se testar possíveis diferenças no padrão de proporções de biomassa entre as populações.

2.6. Experimentos com vasos em casa de vegetação

Os experimentos na casa de vegetação visaram comparar o crescimento dos indivíduos das populações de E. mollis estudadas em duas situações: 1) quando as duas populações de origens diferentes (Cubatão e Sta Genebra) foram plantadas em um mesmo solo (Cubatão); 2) quando indivíduos de uma mesma população (Cubatão) foram plantados em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra).

O fato da casa de vegetação se localizar em Campinas, isola os efeitos da poluição atmosférica existente no jardim experimental, e permite verificar apenas os efeitos de solos e origens diferentes sobre as plantas.

102 vasos de 15 x 15 x 12 cm foram preparados com os seguintes tratamentos:

1 - Solo de Cubatão- 68 vasos receberam solo de Cubatão, coletado nas camadas superficiais da área adjacente ao jardim experimental de Cubatão. Estes vasos foram assim distribuídos:

1.1 - 17 vasos receberam sementes de P. thyrsiflora originárias de Cubatão.

1.2 - 17 vasos receberam sementes de P. thyrsiflora originárias da Santa Genebra.

1.3 - 17 vasos receberam sementes de E. mollis originárias de Cubatão.

1.4 - 17 vasos receberam sementes de E. mollis originárias da Santa Genebra Campinas.

2 - Solo de Santa Genebra - Trinta e quatro vasos receberam solo da mata da Santa Genebra, coletado nas camadas superficiais da beira da mata onde se instalam com frequência populações de E. mollis e P. thyrsiflora. Os tratamentos foram os seguintes:

2.1 - 17 vasos receberam sementes de P. thyrsiflora originárias de Cubatão.

2.2 - 17 vasos receberam sementes de E. mollis originárias de Cubatão.

Os vasos, dispostos em bancadas, foram diariamente aguados e observados para germinação. Apenas um indivíduo foi mantido em cada vaso. Por limitações técnicas os vasos não foram devidamente aleatorizados, desta maneira os resultados deste experimento devem ser considerados como preliminares.

Também por dificuldades técnicas não foram feitos os plantios de indivíduos originários de Sta Genebra em solo de Sta Genebra.

A cada tres semanas aproximadamente parâmetros de desenvolvimento, escolhidos de acordo com a arquitetura de cada espécie, foram medidos nas plantas estabelecidas:

a) para P. thyrsiflora: altura da planta, número de folhas verdes, circunferência basal, número de inflorescências, número de flores, número de frutos, número de folhas mortas. Os fruto maduros foram sendo retirados e as sementes separadas para contagem.

b) para E. mollis: altura da planta, número de folhas basais, número de ramos, número de inflorescências, presença de flores e

frutos, número de folhas mortas.

Quando as plantas, de ambas as espécies mostraram sinais de senescência, aproximadamente 300 dias após o início do experimento, foram retiradas e levadas ao laboratório onde foram separadas em partes (raiz, caule, folhas vivas, folhas mortas, inflorescências e sementes). A exceção das sementes, as outras partes das plantas foram lavadas e secas em estufa a 70°C por 72 horas.

O material seco foi pesado, de onde pôde-se obter os dados de biomassa das partes das plantas.

Depois de pesadas, as partes das plantas foram moídas e preparadas para serem analisadas quimicamente.

O teste "t" foi utilizado para a análise dos parâmetros de desenvolvimento medidos. Aplicou-se o teste "F" previamente ao teste "t" para verificação de diferenças entre variâncias. Os testes foram aplicados para ambas as espécies, agrupando-se os tratamentos 2 a 2 para as seguintes comparações: 1) populações de origens diferentes (Santa Genebra e Cubatão) num mesmo solo (Cubatão); 2) população de Cubatão em solos diferentes (Santa Genebra e Cubatão).

As sementes de cada indivíduo de E. mollis foram pesadas e tiveram seu número estimado por meio de pesagem de grupos de 100 sementes. Testes de germinação foram realizados com 100 sementes de cada indivíduo.

As sementes de P. thyrsoiflora foram contadas e pesadas. Testes de germinação foram realizados com 70 sementes (ou quantas produzidas) de cada indivíduo.

Com os dados de peso das partes das plantas pôde-se calcular o esforço reprodutivo de cada indivíduo e as proporções de biomassa.

As proporções de biomassa nas partes das plantas nas duas espécies foi comparada através de análise de variância multivariada.

2.7. Análise química das plantas

As análises químicas das plantas visaram fornecer dados sobre os teores totais de alguns elementos químicos que foram absorvidos, e sobre como estes elementos se distribuíram dentro das plantas utilizadas nas diversas situações experimentais.

2.7.1. Populações naturais

As determinações das concentrações de elementos químicos das populações naturais das áreas de estudo, foram feitas da seguinte forma: partes aéreas de E. mollis e P. thyrsiflora coletadas nas áreas de Cubatão e da Santa Genebra foram levadas ao laboratório onde foram lavadas em água corrente e colocadas para secar em estufa a 80°C por 72 horas. Em seguida as plantas foram moídas e acondicionadas em frascos de vidro. Nesta etapa só foram realizadas análise para os teores totais da planta inteira, não havendo divisão em partes do material.

O procedimento analítico empregado, foi segundo Brzezinska et al (1984). Realizou-se as leituras em espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido em argônio com a correção de BG da marca Jarrell-Ash. Os elementos analisados foram: Fe, Al, Mn, Zn, Sr, Ca, Cu, Mg, P, Ba.

2.7.2. Jardim experimental e vasos na casa de vegetação

Dito parcelas do jardim experimental (quatro de cada tratamento) foram sorteadas para se constituírem nas amostras a serem analisadas quimicamente significando 1/3 do material vegetal do jardim.

As amostras analisadas foram compostas das 4 plantas do interior de cada parcela. As partes das plantas (raiz, caule, folhas vivas, folhas mortas e inflorescências) foram analisadas separadamente.

Para as plantas desenvolvidas em casa de vegetação (tanto para E. mollis como P. thyrsiflora), as amostras foram compostas de todas as plantas de cada um dos tratamentos. As partes das plantas foram analisadas separadamente. Ao final, calculou-se o valor médio das concentrações dos vários elementos.

O procedimento analítico empregado foi o de digestão nitro-perclórica com bloco digestor (Zagatto et al, 1981). Para cada amostra preparou-se uma repetição. Os elementos analisados foram os seguintes:

ELEMENTO	MÉTODO DE LEITURA
Cu	espectrômetro de absorção atômica
P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Al, Ba, Sr	espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido em argônio
SO ₄	espectrofotômetro acoplado com sistema FIA

As análises foram acompanhadas por dois padrões de referência certificados afim de se verificar a exatidão das determinações. Os padrões usados foram "Orchard Leaves" e "Tomato Leaves", ambos fornecidos pelo NBS.

As concentrações obtidas multiplicou-se o peso das partes das plantas para se determinar o teor total do elemento na planta e a sua proporção.

As análises das plantas foram realizadas no CENA por mim sob a orientação da Prof. Dra. Maria Fernanda G. Giné Rosias, pesquisadora do departamento de Radioquímica e Química Analítica.

Toda a análise estatística deste trabalho foi feita com a assessoria do Prof. Dr. Ademir José Petenate, do Instituto de Matemática e Estatística da UNICAMP, utilizando-se o procedimento GLM do pacote estatístico SAS.

3. RESULTADOS

3.1. Análise dos solos

Análises químicas de solos fornecem valores indicativos de algumas características importantes sobre o meio no qual populações de plantas se desenvolvem: pH, fertilidade, toxicidade de alguns elementos. Estas características podem influir muito na capacidade de crescimento das plantas.

Por outro lado, as análises de solo frequentemente apresentam valores muito variáveis e as classificações não são muito precisas. Assim, devido ao pequeno número de amostras utilizadas neste trabalho, deve-se considerar os resultados encontrados como guias gerais destas características.

Os resultados obtidos nas análises químicas (determinação de teores disponíveis) para os solos das áreas de estudos estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Concentrações dos teores disponíveis de elementos
constituíntes e medidas de pH das amostras de solo de
Cubatão (amostras 1 e 2) e Campinas (amostra 3).

ELEMENTO (conc)	AMOSTRAS DE SOLO		
	1	2	3
pH	4,30	4,25	5,40
H+	0,61	0,58	0,28
Ca (mg/100g)	28,2	10,0	78,0
Mg (mg/100g)	2,64	0,84	15,6
K (mg/100g)	3,90	1,95	14,82
Na (mg/100g)	1,38	1,38	0,92
Soma da bases tro- cáveis (mg/100g)	36,12	14,17	109,34
PO ₄ (mg/100g)	0,89	0,32	0,04
N total (%)	0,18	0,08	0,25
C (%)	1,92	0,67	1,98
C/N	10,67	8,38	7,92
Al (mg/100g)	8,9	11,2	1,17
Cu (ppm)	9,36	1,19	11,25
Fe (ppm)	228,7	63,4	29,1
Zn (ppm)	11,78	8,28	8,17
Mn (ppm)	81,57	14,86	76,53

A primeira informação que podemos obter desses resultados é em relação aos valores de pH. Os solos provenientes do parque industrial de Cubatão (amostras 1 e 2) se apresentam fortemente ácidos, enquanto que o solo proveniente de Santa Genebra apresenta uma acidez média (segundo classificação de Pipaemg, em Malavolta, 1976).

Os valores de pH dos solos de Cubatão (<4,5) estão numa faixa de acidez que potencialmente pode gerar baixa produtividade em espécies comuns (não tolerantes). O solo de Santa Genebra, por outro lado, apresenta um pH mais adequado (dentro da faixa de 5,0-7,5) para o crescimento vegetal.

Os macronutrientes analisados (N,P,K,Ca,Mg e C) e Na indicam que os solos amostrados apresentam pouca fertilidade, e os solos de Cubatão particularmente se apresentam bastante inférteis (ver Tabela 19 em anexo para concentrações normalmente esperadas).

Fazendo uma comparação geral podemos observar três fatos. Primeiro, para os elementos Ca, Mg, N e K, os solos de Santa Genebra apresentam concentrações várias vezes maiores que o solo de Cubatão. Não só as concentrações de Cubatão são menores, como indicam deficiência destes elementos, o que não ocorre com o solo de Santa Genebra. Estes quatro elementos são nutrientes de grande importância, e suas deficiências nos solos de Cubatão indicam fertilidade bem baixa.

O solo de Sta Genebra não apresenta fertilidade alta, todavia não é deficiente em nutrientes.

Para fósforo a situação se inverte. Os solos de Cubatão apresentam valores superiores aos do solo de Sta Genebra. Para a amostra 1 (onde se encontra a população de E. mollis) há inclusive

uma tendência ao excesso, enquanto o solo de Sta Genebra apresenta uma leve deficiência.

Uma vez que em solos tropicais o P é facilmente removido por lixiviação, e em solos brasileiros, em especial, costuma ser deficiente (Malavolta, 1976), parece possível que as fábricas produtoras de fertilizantes que trabalham com rochas fosfáticas, e que se encontram bastante próximas a área de estudo de Cubatão, possam ser uma fonte de suprimento de P para os solos ao redor.

Finalmente, para Na e C, observamos que os solos de Cubatão e Sta Genebra apresentam valores bastante semelhantes. O Na apresenta valores um pouco inferiores aos normalmente esperados, porém, Na não é um nutriente normalmente essencial, desta forma pode ter pouca importância na caracterização do status nutricional destes solos. As concentrações de C, por sua vez, apesar de não indicarem deficiência, se constituem em valores baixos, indicando pouca fertilidade e pouco acúmulo de matéria orgânica (Queiroz Neto & Kupper, 1965).

As proporções C/N também variam pouco entre as amostras. Os valores obtidos indicam boa ciclagem de nitrogênio e taxa de decomposição, pois taxas mais altas indicam decomposição lenta (Bradshaw & Chadwick, 1980).

Uma outra indicação do grau de fertilidade é dada pela soma das bases trocáveis (Ca+Mg+Na+K). Os valores obtidos reforçam a indicação de que os solos de Cubatão são inférteis (especialmente a amostra 2, onde está a população de P. thyrsiflora), e o solo de Sta Genebra é comparativamente mais fértil.

Com relação aos metais, micronutrientes e não-nutrientes, estes de um modo geral, apresentaram valores dentro das faixas de

concentração esperadas para os três solos, à excessão de Cu, bem mais alto que normalmente em ambas localidades (ver anexo Tabela 19).

Comparando os solos entre si podemos distinguir três situações:

a) Al e Fe são mais abundantes nos solos de Cubatão especialmente no solo da amostra 1 (população de E. mollis).

b) Os valores de Cu e Mn na amostra 1 do solo de Cubatão e do solo de Sta Genebra são bastante semelhantes. Por outro lado, o solo de Cubatão da amostra 2 se apresenta bastante depauperado destes elementos.

c) O Zn se apresenta em concentrações praticamente iguais para os três solos.

Assim, à excessão do Al que parece estar se concentrando nos solos de Cubatão, não existe uma tendência nítida de acúmulo de sais de metais nos solos. Este não-acúmulo de metais em Cubatão, onde o solo é mais ácido, pode ocorrer devido a lixiviação decorrente da alta pluviosidade local associada à inclinação da área.

Desta forma, o quadro geral para os solos analisados é o seguinte: os solos da área de estudo de Cubatão apresentam: 1) acidez elevada, 2) deficiência de macronutrientes (à excessão de P), e 3) concentrações potencialmente tóxicas de alguns metais, particularmente o alumínio. O solo da amostra 2 (população de P. thyrsoflora) é o mais infértil. Ele se apresenta consistentemente mais pobre.

Estas características apresentadas pelos solos de Cubatão (acidez, baixa fertilidade, toxidez potencial), são conhecidos fatores limitantes de crescimento de plantas, que podem agir independentemente ou conjuntamente e afetar o crescimento vegetal

(Foy, 1976). Também são características comumente encontradas em solos de áreas degradadas.

O solo de Sta Genebra, por sua vez, não apresenta acidez ou fertilidade comprometidas. É um solo de fertilidade média e apesar de apresentar concentrações potencialmente tóxicas de Cu, não apresenta fortes fatores limitantes de crescimento.

Desta forma os solos estudados apresentam condições bastante distintas para o desenvolvimento das plantas.

3.2. Desempenho de Elephantopus mollis

3.2.1. Jardim experimental de Cubatão

A Tabela 2 apresenta as características de crescimento das populações de E. mollis de origens diferentes no jardim experimental de Cubatão, e compara a variância destas populações.

Os resultados mostram que quatro características foram significativamente diferentes: a população originária de Sta Genebra apresentou menor biomassa de raiz, menor biomassa de folhas verdes e maior biomassa de folhas mortas e sementes, quando comparada com a população originária de Cubatão.

A estimativa do número médio sementes produzidas por indivíduo também é significativamente maior para as plantas de Sta Genebra (347±217) do que para as de Cubatão (145±105) (F= 7,20; P= 0,0188).

Tabela 2 - Parâmetros de crescimento das populações de E. mollis de Cubatão (cub) e Santa Genebra (sta) no jardim experimental de Cubatão. Altura máxima (ALT); Biomassa da raiz (BR); Biomassa de folhas verdes (BFV); Biomassa de folhas mortas (BFM); Biomassa do caule (BC); Biomassa das inflorescências (BINF); Peso das sementes produzidas (PS); Biomassa total (BTOT) e esforço reprodutivo (ER).

x = média; s = desvio padrão; cv = coeficiente de variação

Parâmetro	cub		sta		F	P	
	x±s	cv	x±s	cv			
ALT (cm)	25,64 ±9,40	0,37	28,05 ±12,87	0,46	0,28	0,6056	ns
BR (g)	0,77 ±0,43	0,56	0,44 ± 0,25	0,57	5,59	0,0343	*
BC (g)	1,21 ±0,82	0,68	1,49 ± 1,24	0,83	0,55	0,4700	ns
BFV (g)	1,56 ±0,91	0,58	0,80 ± 0,41	0,51	7,41	0,0174	**
BFM (g)	0,63 ±0,34	0,54	1,01 ± 0,49	0,49	7,18	0,0189	**
BINF (g)	0,51 ±0,28	0,55	0,80 ± 0,61	0,76	1,97	0,1841	ns
PS (g)	0,06 ±0,05	0,83	0,17 ± 0,11	0,65	7,62	0,0162	**
BTOT (g)	4,73 ±2,60	0,55	4,56 ± 2,69	0,59	0,03	0,8725	ns
ER	0,12 ±0,06	0,50	0,13 ± 0,06	0,46	0,26	0,6196	ns

Como E. mollis é uma espécie de crescimento contínuo, podemos supor que a população de Cubatão pudesse estar crescendo mais lentamente (investindo mais em produção de raiz e folhas verdes), e a população de Sta Genebra estivesse mais adiantada em seu ciclo de vida (maior biomassa de folhas senescentes e maior investimento na produção de sementes). Podemos notar também que a biomassa total para ambas populações não diferiu, o que significa que as duas populações tiveram a mesma produção de biomassa mas a alocaram de forma diferente.

As duas populações também apresentaram o mesmo esforço reprodutivo médio, apesar de Sta Genebra ter produzido em média mais sementes. Existe, porém, uma grande variação em torno das médias da produção de sementes, significando que alguns indivíduos produziram mais sementes, e outros produziram muito pouco. Ainda, muitos indivíduos das duas populações não chegaram a se reproduzir (dos 56 indivíduos de cada população, 41 de Cubatão frutificaram e apenas 35 de Sta Genebra) contribuindo bastante para a variação em torno do esforço reprodutivo. Se considerarmos apenas a parcela de indivíduos de ambas populações que de fato reproduziram para calcular o esforço reprodutivo, obtemos os seguintes valores: para Cubatão $er = 0,15 \pm 0,07$ e para Sta Genebra $er = 0,21 \pm 0,07$, indicando que os indivíduos de Sta Genebra que frutificaram apresentaram maior esforço reprodutivo que os indivíduos de Cubatão que também o fizeram.

Portanto, podemos destacar que existiram características diferentes de crescimento nas duas populações (especialmente a produção de sementes), o que sugere que a origem da população pode estar determinando estas características de crescimento.

Analizando melhor os valores obtidos para a biomassa das partes da planta, procuramos comparar suas proporções para cada população de E. mollis. Os resultados estão na Figura 1.

Há uma diferença de alocação de biomassa significativa para as duas populações de origens diferentes, indicando diferenças nos estados fenológicos (Fig. 1). A comparação geral é altamente significativa ($F= 16,86$; $P<0,0001$). A população de Cubatão apresenta maiores proporções de biomassa para a parcela de folhas que se encontravam verdes, em seguida caule, raiz, parcela de folhas mortas e inflorescências. Já a população de Sta Genebra apresenta maiores proporções para a parcela de folhas mortas, depois caule, as folhas verdes, inflorescências e por fim raiz.

Ambas populações de E. mollis no jardim experimental, apresentaram grande variação fenotípica. Os coeficientes de variação são altos para todas as características de crescimento medidas (Tab. 2). A população de Sta Genebra apresenta maior variação que a população de Cubatão para tres características: altura, biomassa de caule e biomassa de inflorescência. A população de Cubatão apresenta maior variação em torno da produção de sementes.

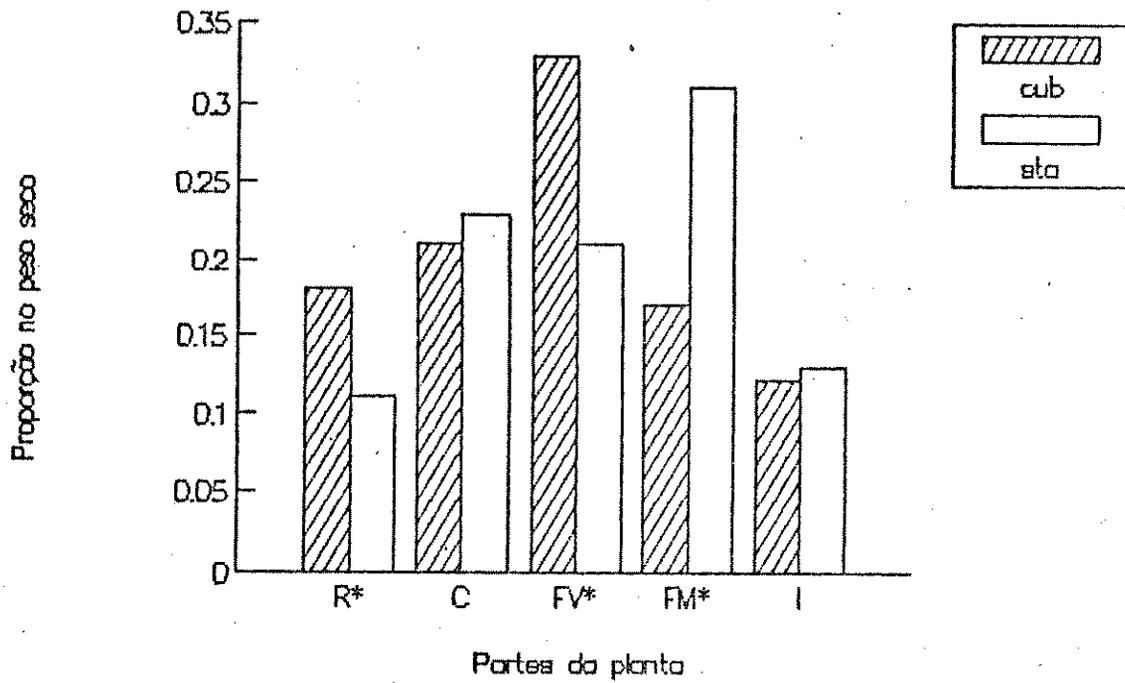


Figura 1 - Proporção de biomassa nas partes da planta das populações de E.mollis de Cubatão e Sta Genebra plantadas no jardim experimental de Cubatão. (R = raiz; C = caule; FV = folhas verdes; FM = folhas mortas; I = inflorescências). Estruturas acompanhadas com asterisco são significativamente diferentes.

De um modo geral os indivíduos do jardim experimental de Cubatão cresceram pouco, apenas aproximadamente 50% dos indivíduos atingiram mais que 30 cm de altura, dos quais por volta de 20% ultrapassaram 45 cm (Fig. 2).

A frequência de indivíduos foi alta nas classes de altura menores. As plantas de Sta Genebra tiveram maior frequência de indivíduos na classe mais baixa (<15 cm), enquanto que a população de Cubatão apresentou maior frequência na classe de 15-30 cm. Por outro lado, as plantas mais altas (>30cm) tiveram uma distribuição mais espalhada (por 3 classes de altura) que as plantas mais baixas.

Na população de Sta Genebra apesar da maior frequência de indivíduos ocorrer na classe de 0-15 cm, nenhum destes indivíduos se reproduziu (Tab. 3). Para as outras classes de altura, em geral a maior parte dos indivíduos frutificaram. Na população de Cubatão, também poucos indivíduos da menor classe (0-15 cm) reproduziram, porém, como esta população teve maior frequência de indivíduos na classe superior (15-30 cm), e esta também apresentou maior número de indivíduos reproduzindo-se, a porcentagem total de indivíduos que frutificaram foi mais alta na população de Cubatão (74%) (Tab. 3).

O fato da população de Cubatão ter mais indivíduos reproduzindo-se parece estar ligado a sua habilidade de crescimento. Entretanto, a população de Sta Genebra produziu significativamente mais sementes (tabela 1), mesmo com um menor número de indivíduos frutificando.

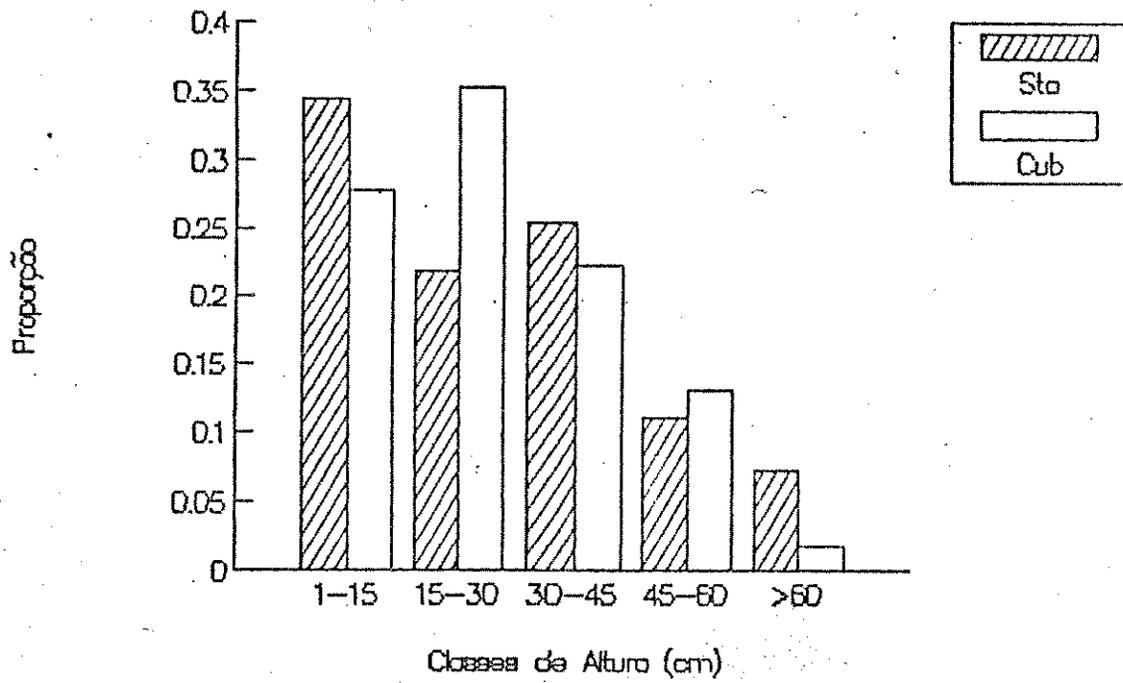


Figura 2 - Distribuição de altura de *Elephantopus mollis* de Cubatão e Santa Genebra no jardim experimental de Cubatão.

Tabela 3 - Frequência relativa de indivíduos das populações de E. mollis de Cubatão e Sta Genebra do jardim experimental de Cubatão, que frutificaram nas classes de altura.

Classes de altura (cm)	Sta Genebra		Cubatão	
	n	% frutificou	n	% frutificou
0-15	19	0	15	27
15-30	12	100	19	90
30-45	14	93	12	92
45-60	6	100	7	100
>60	4	100	1	100
% total	55	64	54	74

3.2.2. Experimentos na casa de vegetação

3.2.2.1. Comparação para populações de origens diferentes.

Os resultados obtidos para as características de crescimento das populações de E. mollis de origens diferentes em solo de Cubatão na casa de vegetação, e a comparação das médias, estão na Tabela 4.

Tres características foram significativamente diferentes: a população de Sta Genebra apresentou maior altura, maior produção de sementes e menor biomassa para folhas verdes (Tab. 4). A estimativa do número médio de sementes produzidas também foi maior para a população de Sta Genebra (1895 ± 1370) em relação à população de Cubatão (1024 ± 458) ($t= 2,48$; $P= 0,0221$).

Tabela 4 - Parâmetros de crescimento das populações de E.mollis de diferentes origens (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação, Campinas. Altura máxima (ALT); Biomassa da raiz (BR); Biomassa de folhas verdes (BFV); Biomassa de folhas mortas (BFM); Biomassa do caule (BC); Biomassa das inflorescências (BINF); Peso das sementes produzidas (PS); Biomassa total (BTOT) e esforço reprodutivo (ER).

x = média; s = desvio padrão; cv = coeficiente de variação

Parâmetro	cub		sta		t	P	
	x±s	cv	x±s	cv			
ALT (cm)	45,53 ±6,77	0,15	56,24 ±14,15	0,25	2,81	0,0099	**
BR (g)	1,92 ±0,98	0,51	1,89 ± 1,11	0,59	0,07	0,9432	ns
BC (g)	5,08 ±1,41	0,28	4,54 ± 1,69	0,37	1,01	0,3173	ns
BFV (g)	2,18 ±0,57	0,26	1,58 ± 0,86	0,54	2,41	0,0220	*
BFM (g)	2,40 ±0,63	0,26	3,05 ± 1,34	0,44	1,81	0,0842	ns
BINF (g)	2,45 ±0,71	0,29	2,34 ± 1,33	0,57	0,30	0,7675	ns
PS (g)	0,54 ±0,22	0,41	0,89 ± 0,58	0,65	2,32	0,0310	*
BTOT (g)	12,24 ±3,02	0,25	12,50 ± 3,82	0,31	0,22	0,8293	ns
ER	0,20 ±0,04	0,20	0,20 ± 0,12	0,60	0,04	0,9694	ns

Comparando estes resultados com os do jardim experimental (Tab. 2) é claro que ambas populações (Cubatão e Sta Genebra) apresentaram crescimento nitidamente maior para todas as características medidas quando plantadas na casa de vegetação. No entanto, apesar desse maior crescimento generalizado, vemos que as tendências de crescimento, para as populações de origens diferentes, se mantem praticamente as mesmas. Duas das três características que foram significativamente diferentes na casa de vegetação também o foram no jardim experimental de Cubatão (produção de sementes e biomassa de folhas verdes). A população de Sta Genebra plantada na casa de vegetação também apresentou maior biomassa para folhas senescentes, e embora a diferença para as duas populações não tenha sido significativa, a probabilidade apresentada (0,0842) é bastante baixa, sugerindo uma tendência nesse sentido. A população de Sta Genebra apresenta uma tendência a um crescimento rápido, em comparação com um crescimento mais lento da população de Cubatão (maior investimento em folhas verdes). Adicionalmente, as duas populações na casa de vegetação apresentaram a mesma biomassa total e também o mesmo esforço reprodutivo, como ocorreu no jardim experimental de Cubatão. Se calcularmos porém, o esforço reprodutivo considerando-se apenas os indivíduos que de fato reproduziram, o esforço reprodutivo da população de Sta Genebra é maior ($r = 0,25 \pm 0,08$).

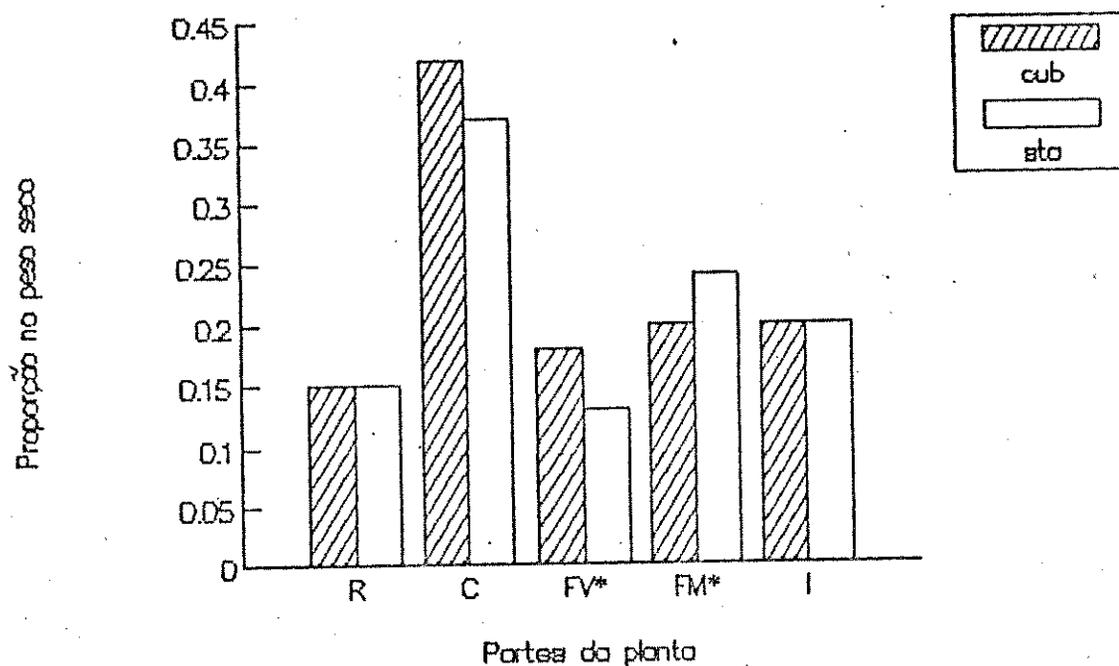


Figura 3 - Proporção de biomassa nas partes da planta das populações de *E. mollis* de origens diferentes (Cubatão e Sta Genebra) plantadas na casa de vegetação, Campinas (R = raiz; C = caule; FV = folhas verdes; FM = folhas mortas; I = inflorescências). Estruturas acompanhadas de asterisco são significativamente diferentes.

Há uma diferença significativa ($F= 2,84$; $P<0,05$) para a alocação geral de biomassa entre as duas populações (Fig. 3). Para as partes das plantas as diferenças foram entre as proporções para a parcela de folhas verdes (maior para a população de Cubatão) e a parcela de folhas mortas (maior para a população de Sta Genebra). Estas tendências são semelhantes às apresentadas para o jardim experimental de Cubatão (Fig. 1). Por outro lado, na casa de vegetação as populações de E. mollis apresentaram maiores proporções para o caule que no jardim experimental de Cubatão, onde as maiores proporções foram para as folhas (Fig. 1). Possivelmente o maior crescimento em altura na casa de vegetação influenciou na diferença de proporções nestes dois ambientes. A proporção de biomassa alocada para inflorescências, pelas populações da casa de vegetação, também foram bem maiores que aquelas ocorridas no jardim experimental de Cubatão. Aparentemente as plantas da casa de vegetação apresentaram maior investimento em reprodução.

A população de Sta Genebra parece ser mais variável fenotipicamente que a população de Cubatão (Tab. 4). Os coeficientes de variação para as diversas características medidas na casa de vegetação são em geral maiores para a população de Sta Genebra. Por outro lado, as plantas de ambas populações apresentaram, de um modo geral, variação fenotípica maior no jardim experimental (Tab. 2) do que na casa de vegetação (Tab. 4).

As plantas da população de Sta Genebra apresentaram uma altura média significativamente maior que as da população de Cubatão. A distribuição dos indivíduos por classe de altura ilustra essa diferença (Fig. 4).

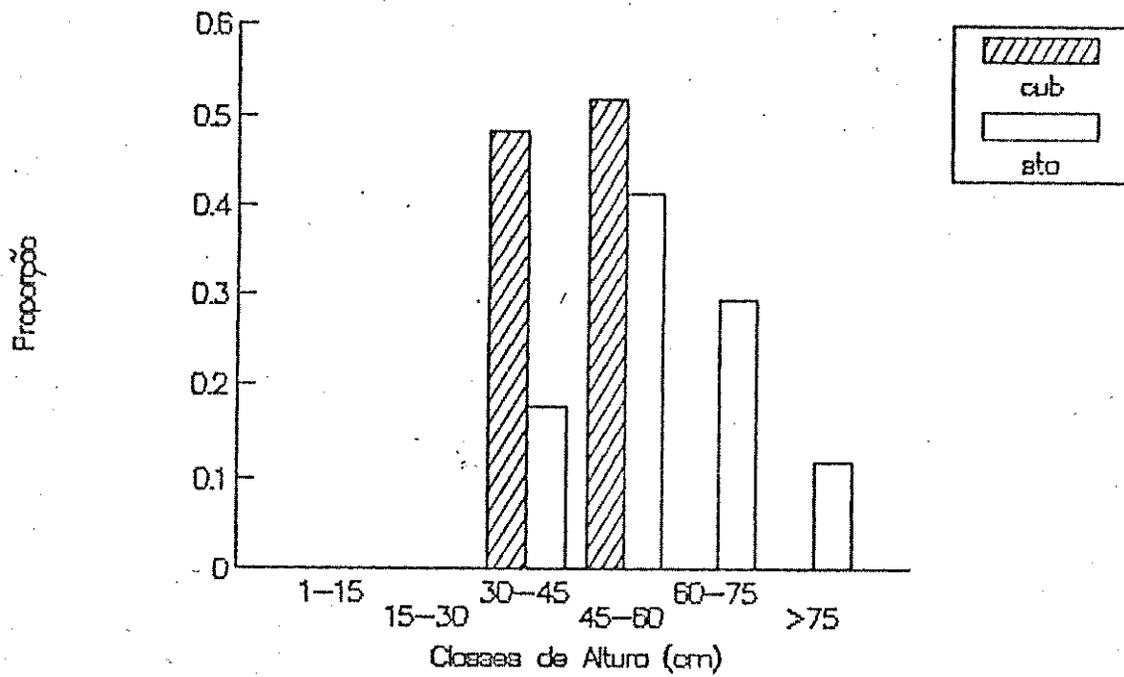


Figura 4 - Distribuição dos indivíduos das duas populações de E. mollis de Cubatão e Sta Genebra por classes de altura, plantadas na casa de vegetação.

A quase totalidade dos indivíduos de E. mollis da casa de vegetação frutificaram (Tab. 5). Podemos observar que os indivíduos da população de Sta Genebra tanto no jardim experimental de Cubatão (Tab. 3) como na casa de vegetação (Tab. 5), apresentaram porcentagens de frutificação total, sempre inferiores aquelas apresentadas pela população de Cubatão.

Tabela 5 - Frequência relativa de indivíduos das populações de E. mollis de Cubatão e Sta Genebra na casa de vegetação.
 Porcentagem de frutificação nas classes de altura.

classes de altura (cm)	Cubatão		Sta Genebra	
	n	% frutificou	n	% frutificou
0-15	0	-	0	-
15-30	0	-	0	-
30-45	13	100	3	100
45-60	14	100	7	100
60-75	0	-	5	60
>75	0	-	2	50
% total	17	100	17	82

3.3.2.2. Comparação para solos diferentes

A tabela 6 apresenta os resultados das características de crescimento medidas na casa de vegetação para a população de E. mollis de Cubatão, em solos diferentes.

Os resultados (Tab. 6) mostram um desempenho muito melhor no solo de Sta Genebra. Parece que o solo de Sta Genebra propicia condições muito melhores para o crescimento de E. mollis.

O esforço reprodutivo e número estimado de sementes produzidas também é muito superior para o solo de Sta Genebra (6758 ± 1944) que para o solo de Cubatão (1023 ± 458) ($t = 11,8394$; $P = 0,0001$).

As proporções de biomassa para a população de Cubatão em solos diferentes está apresentada na figura 5.

Tabela 6 - Parâmetros de crescimento da população de E.mollis de Cubatão, plantada em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação, Campinas. Altura máxima (ALT); Biomassa da raiz (BR); Biomassa de folhas verdes (BFV); Biomassa de folhas mortas (BFM); Biomassa do caule (BC); Biomassa das inflorescências (BINF); Peso das sementes produzidas (PS); Biomassa total (BTOT) e esforço reprodutivo (ER).

x = média; s = desvio padrão; cv = coeficiente de variação

Parâmetro	cub		sta		t	P	
	x±s	cv	x±s	cv			
ALT (cm)	45,53 ±6,77	0,15	65,41 ±13,39	0,21	5,47	0,0001	****
BR (g)	1,92 ±0,98	0,51	8,00 ± 3,26	0,41	7,36	0,0001	****
BC (g)	5,08 ±1,41	0,28	22,24 ± 4,87	0,22	13,96	0,0001	****
BFV (g)	2,18 ±0,57	0,26	4,12 ± 1,78	0,43	4,28	0,0004	***
BFM (g)	2,40 ±0,63	0,26	5,29 ± 1,24	0,23	8,57	0,0001	****
BINF (g)	2,45 ±0,71	0,29	11,72 ± 3,05	0,26	12,19	0,0001	****
PS (g)	0,54 ±0,22	0,41	3,46 ± 0,98	0,28	12,05	0,0001	****
BTOT (g)	12,24 ±3,02	0,25	48,44 ± 9,77	0,20	14,60	0,0001	****
ER	0,20 ±0,04	0,20	0,25 ± 0,07	0,28	2,20	0,0354	*

A comparação da alocação geral de biomassa em solos diferentes apresentou diferença altamente significativa ($F= 29,19; P<0,0001$). Os indivíduos do solo de Cubatão apresentaram maiores proporções para folhas, tanto verdes como mortas. Em contrapartida, os indivíduos que cresceram no solo de Sta Genebra apresentaram proporções significativamente maiores para as inflorescências. Esta diferença provavelmente repercutiu no maior esforço reprodutivo apresentado (Tabela 6).

Novamente o caule foi a parte da planta que recebeu as maiores proporções de biomassa dos indivíduos crescendo em ambos os solos.

Os indivíduos do solo de Cubatão apresentaram em seguida maiores proporções nas folhas, inflorescências e raiz. Já os indivíduos do solo de Sta Genebra em segundo lugar priorizaram inflorescências, depois folhas e raiz.

A população de Cubatão não apresenta coeficientes de variação muito diferentes quando plantada em solos diferentes (Tab. 6). A população varia mais na biomassa de raiz e produção de sementes no solo de Cubatão e biomassa de folhas verdes no solo de Sta Genebra.

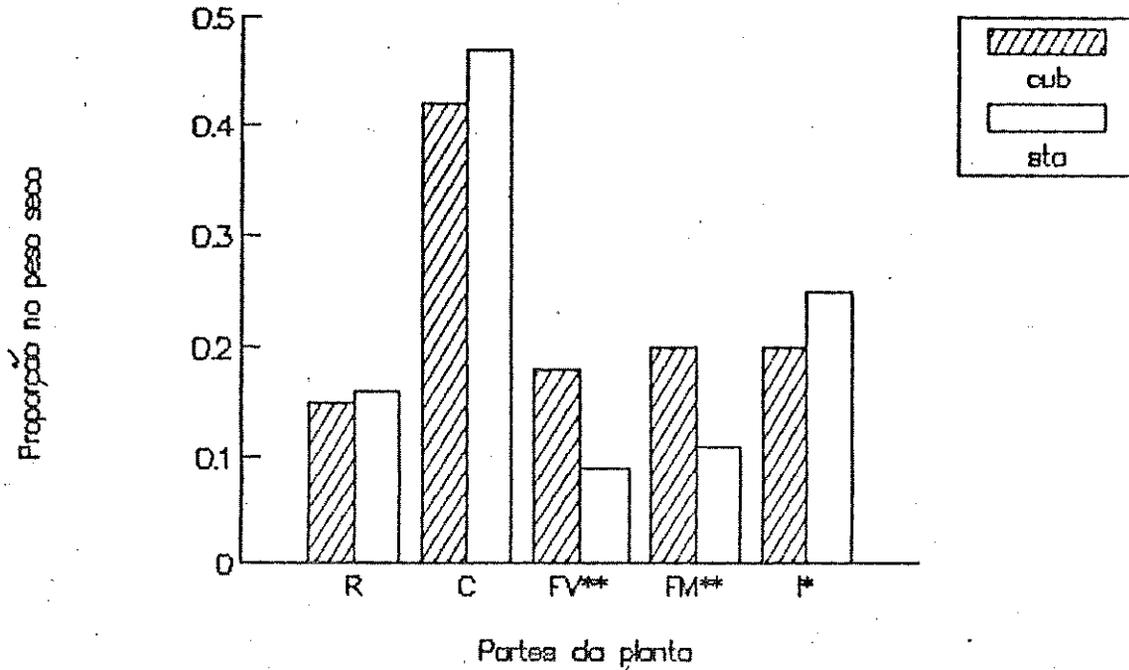


Figura 5 - Proporções da biomassa nas partes da planta da população de *E. mollis* de Cubatão, plantada em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra), na casa de vegetação, Campinas (R = raiz; C = caule; FV = folhas verdes; FM = folhas mortas; I = inflorescências). Estruturas acompanhadas de asterisco são significativamente diferentes.

A classe de altura de maior frequência para os indivíduos dos dois solos é a mesma (45-60 cm), embora os indivíduos do solo de Sta Genebra nitidamente se distribuam nas classes de altura maiores (Fig. 6).

Todos os indivíduos neste experimento frutificaram tanto no solo de Cubatão como no solo de Sta Genebra (Tab. 7), porém a produção de sementes foi bem maior para os indivíduos do solo de Sta Genebra.

Os solos de Cubatão parecem exercer fortes limitações no crescimento e reprodução das plantas. Porém, as condições gerais do jardim experimental de Cubatão parecem agravar as limitações impostas pelo solo, uma vez que foi nesta situação que as plantas da população de Cubatão tiveram sua reprodução mais prejudicada (Tab. 3).

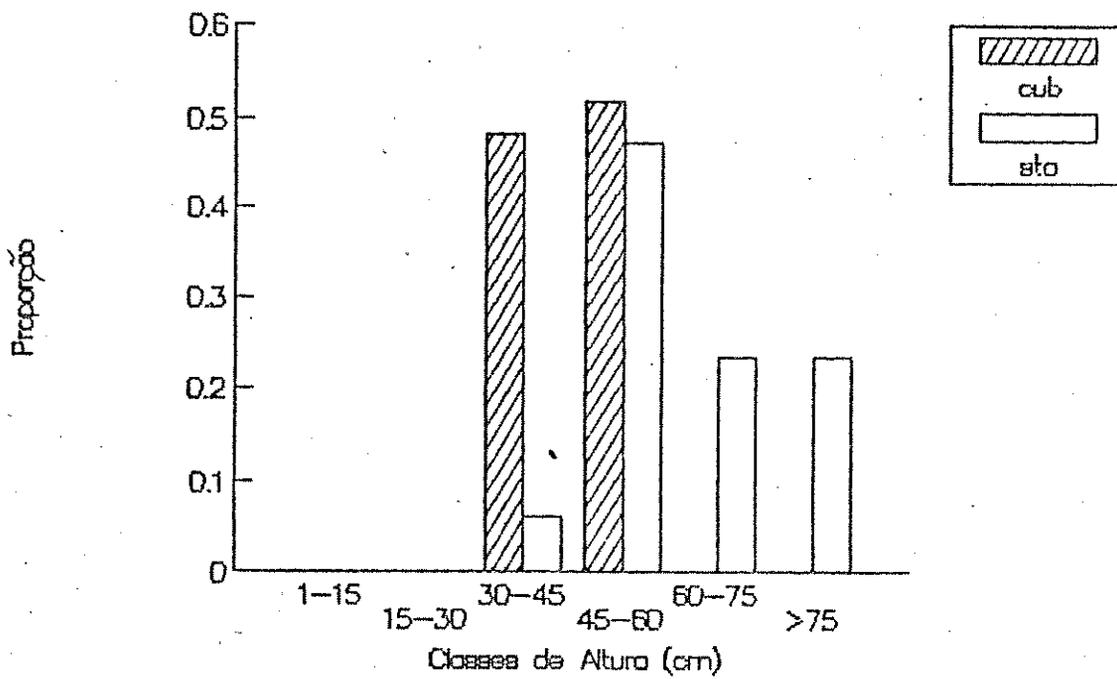


Figura 6 - Distribuição dos indivíduos de *E. mollis* de Cubatão por classes de altura, plantados em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação.

Tabela 7 - Frequência relativa dos indivíduos de E. mollis de Cubatão em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação. Porcentagem de frutificação nas classes de altura.

classes de altura (cm)	Cubatão		Sta Genebra	
	n	% frutificou	n	% frutificou
1-15	0	-	0	-
15-30	0	-	0	-
30-45	13	100	1	100
45-60	14	100	8	100
60-75	0	-	4	100
>75	0	-	4	100
% total	17	100	17	100

3.3. Desempenho de Phytolacca thyrsoflora

A segunda espécie estudada P. thyrsoflora somente foi testada em experimentos na casa de vegetação. Isto porque sucessivas tentativas de instalação de um jardim experimental para esta espécie falharam, em função da alta mortalidade das plântulas, talvez por arraste pelas chuvas. Também, os mecanismos de dormência das sementes são difíceis de ser quebrados e dificultaram a obtenção do número necessário de jovens para a instalação no jardim. Desta forma, temos para esta espécie as duas situações experimentais da casa de vegetação, que também foram usadas para E. mollis:

- 1) populações de origens diferentes (Cubatão e Sta Genebra) plantadas no mesmo solo (Cubatão);
- 2) indivíduos de uma mesma população (Cubatão) plantados em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra).

3.3.1. Comparação para populações de origens diferentes, no solo de Cubatão.

Os resultados das características de crescimento medidas estão na tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros de crescimento das populações de *P. thyrsoiflora* de origens diferentes (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação, Campinas. Altura máxima (ALT); Biomassa da raiz (BR); Biomassa de folhas verdes (BFV); Biomassa de folhas mortas (BFM); Biomassa do caule (BC); Biomassa das inflorescências (BINF); Peso das sementes produzidas (PS); Biomassa total (BTOT) e esforço reprodutivo (ER).

x = média; s = desvio padrão; cv = coeficiente de variação

Parâmetro	cub		sta		t	P
	x±s	cv	x±s	cv		
ALT (cm)	56,77 ±10,08	0,18	53,25 ±21,35	0,40	0.44	0.6689 ns
BR (g)	0,55 ± 0,15	0,27	0,49 ± 0,32	0,65	0.55	0.5990 ns
BC (g)	1,61 ± 0,36	0,22	1,58 ± 0,88	0,56	0.10	0.9261 ns
BF (g)	3,87 ± 1,03	0,27	3,42 ± 0,97	0,28	1.03	0.3118 ns
BINF (g)	0,54 ± 0,19	0,35	0,47 ± 0,28	0,60	0.83	0.4172 ns
PS (g)	1,06 ± 0,71	0,67	0,65 ± 0,65	1,00	1.38	0.1801 ns
BTOT (g)	7,63 ± 1,81	0.24	6,57 ± 2.62	0,40	1.19	0.2456 ns
ER	0,20 ± 0,09	0,45	0,15 ± 0,10	0,67	1.30	0.2054 ns

Distintamente dos resultados de E.mollis, para P. thyrsiflora, nenhuma característica de crescimento foi significativamente diferente em relação à população de origem. Também o número médio de sementes produzidas foi semelhante, 215 ± 135 para a população de Cubatão, e 222 ± 199 para a população de Sta Genebra ($t= 0,1072$; $P= 0,9155$).

Porém, a população de Cubatão consistentemente apresenta as maiores médias, para todas as características, sugerindo que possa haver uma tendência a um melhor desempenho da população de Cubatão em solo local.

Os resultados para proporções de biomassa nas partes das plantas para cada população também não apresentaram nenhum efeito de origem (Fig. 7).

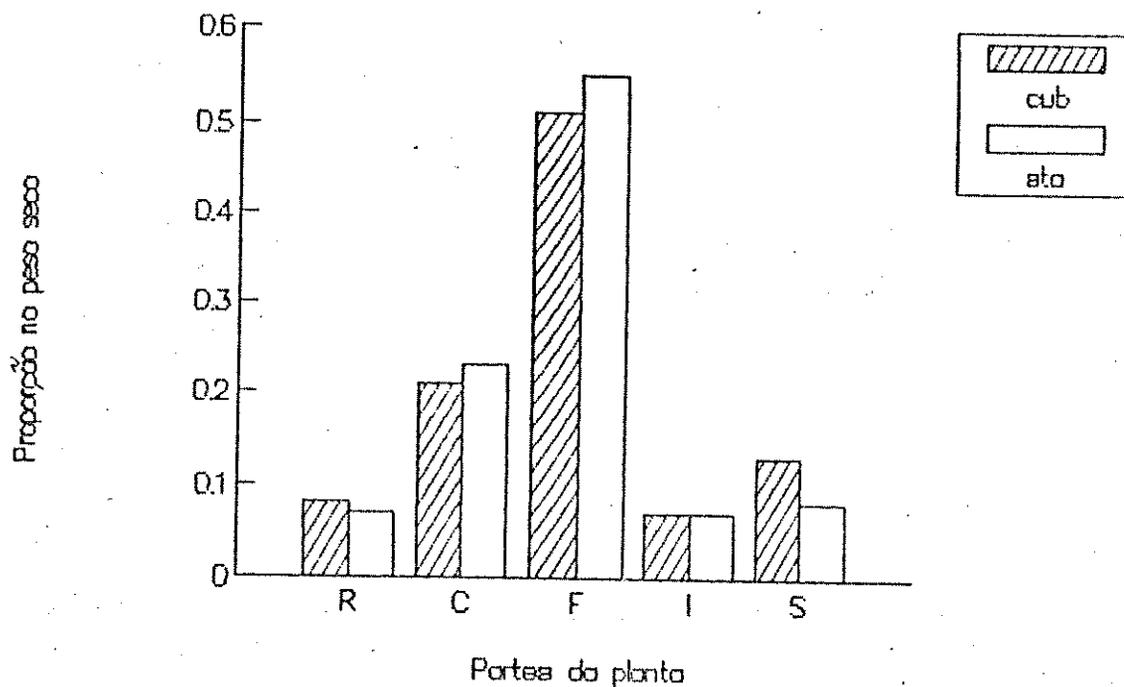


Figura 7 - Proporções de biomassa nas partes da planta das populações de *P. thyrsoiflora* de origens diferentes (Cubatão e Sta Genebra) pantadas na casa de vegetação, Campinas (R = raiz; C = caule; F = folhas; I = inflorescências; S = sementes). Estruturas seguidas de asterisco são significativamente diferentes.

Não houve diferença nas proporções de biomassa, em geral, nem para as diferentes partes da planta, para as duas populações de origens diferentes ($F= 1,64$; ns). Ambas populações apresentaram maiores proporções para folhas mortas, em seguida caule e num terceiro patamar raízes, inflorescências e sementes.

A população de P. thyrsiflora de Sta Genebra apresenta mais variação fenotípica que a população de Cubatão. Os coeficientes de variação são maiores para a população de Sta Genebra para todas as características medidas (Tab. 8). Estes resultados são semelhantes aos obtidos para E. mollis na casa de vegetação onde a população de Santa Genebra também apresentou maior variação (Tab. 4).

Com relação à distribuição de indivíduos por classe de altura, os indivíduos da população de Cubatão foram mais frequentes na classe de 40-60 cm, enquanto que os indivíduos de Sta Genebra foram mais frequentes na classe de 20-40 cm e tiveram uma distribuição mais equitativa pelas outras classes (Tab. 8). De um modo geral, os indivíduos das duas populações cresceram pouco, comparando com populações naturais.

A maior parte dos indivíduos das duas populações frutificaram (Tab. 9), porém a porcentagem do total de indivíduos que frutificaram é menor para a população de Sta Genebra. Este resultado é semelhante ao obtido para E. mollis (Tab.5), e pode indicar uma dificuldade de indivíduos de populações não locais se reproduzirem em solo de Cubatão.

Por outro lado, mesmo com menor porcentagem de indivíduos frutificando, a população de Sta Genebra de P. thyrsiflora apresentou uma produção de sementes semelhante a população de Cubatão (Tab. 8).

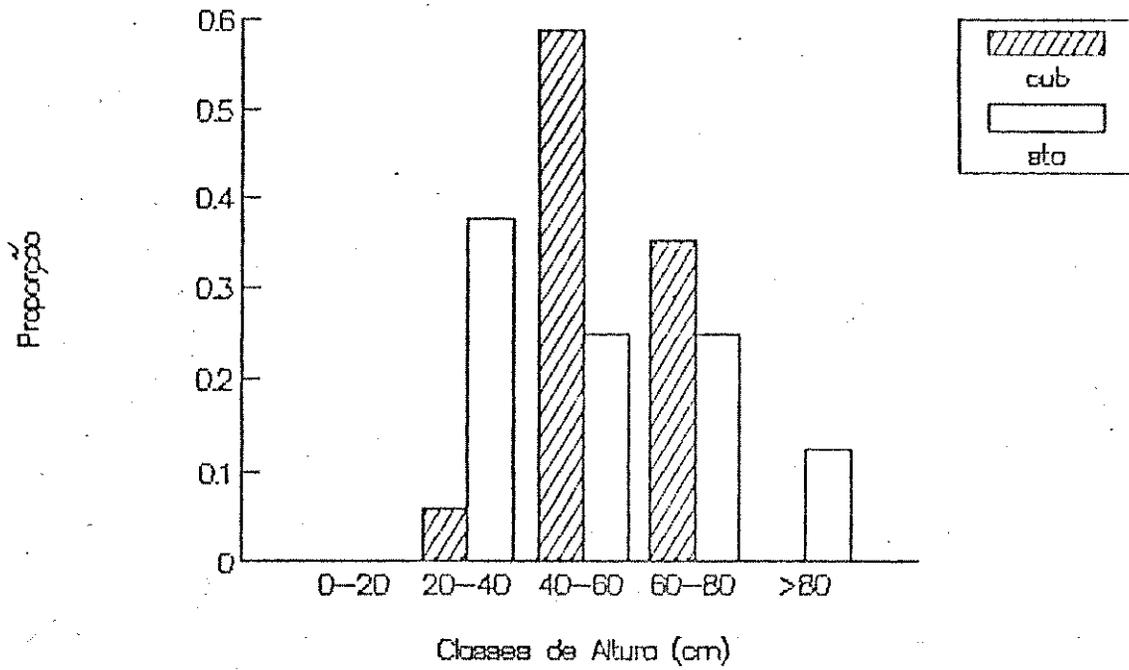


Figura 8 - Distribuição dos indivíduos das duas populações de P. thyrsoflora (Cubatão e Sta Genebra), por classe de altura na casa de vegetação.

Tabela 9 - Frequência relativa de indivíduos das populações de P.
thyrsiflora de Cubatão e Sta Genebra na casa de vegetação.
 Porcentagens de frutificação por classe de altura.

classe de altura (cm)	Cubatão		Sta Genebra	
	n	% frutificou	n	% frutificou
1-20	0	-	0	-
20-40	1	100	3	67
40-60	10	60	2	0
60-80	6	100	2	100
>80	0	-	0	-
Total	17	77	8	63

3.3.2. Comparação para solos diferentes

A tabela 10 apresenta os resultados obtidos para as características de crescimento medidas para P. thyrsiflora em solos diferentes. Os resultados obtidos para esta espécie se assemelham muito aos obtidos para E. mollis nesta mesma situação (Tab. 6).

Tabela 10 - Parâmetros de crescimento das populações de P. thyrsiflora de Cubatão plantada em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação, Campinas. Altura máxima (ALT); Biomassa da raiz (BR); Biomassa de folhas verdes (BFV); Biomassa de folhas mortas (BFM); Biomassa do caule (BC); Biomassa das inflorescências (BINF); Peso das sementes produzidas (PS); Biomassa total (BTOT) e esforço reprodutivo (ER).

x = média; s = desvio padrão; cv = coeficiente de variação

Parâmetro	cub		sta		t	P	
	x±s	cv	x±s	cv			
ALT (cm)	56,77 ±10,08	0,18	85,25 ±10,85	0,13	6,44	<0,0001	****
BR (g)	0,55 ± 0,15	0,27	1,95 ± 0,54	0,28	7,21	0,0001	****
BC (g)	1,61 ± 0,36	0,22	8,16 ± 2,01	0,25	9,17	0,0001	****
BF (g)	3,87 ± 1,03	0,27	8,02 ± 2,06	0,26	5,40	0,0005	***
BINF (g)	0,54 ± 0,19	0,35	2,25 ± 1,25	0,56	3,83	0,0063	**
PS (g)	1,06 ± 0,71	0,67	11,53 ± 2,65	0,23	11,00	0,0001	****
BTOT (g)	7,63 ± 1,81	0,24	31,90 ± 7,41	0,23	9,14	0,0001	****
ER	0,20 ± 0,09	0,45	0,44 ± 0,05	0,11	6,87	<0,0001	****

Mais uma vez, o solo demonstra ser um fator determinante sobre as características de desenvolvimento destas plantas. Todas as características apresentam médias bem mais altas para os indivíduos plantados no solo de Sta Genebra a níveis de significância bastante altos. O número de sementes produzidas foi de 215 ± 135 para o solo de Cubatão e 2.168 ± 470 para o solo de Sta Genebra ($t = 11,5322$; $P = 0,0001$).

A alocação de biomassa para as partes das plantas também é diferente para os diferentes solos (fig. 9).

A comparação da alocação geral é diferente à nível bastante significativo ($F = 24,09$; $P < 0,0001$). As partes que mais diferiram foram sementes e caule (maior para os indivíduos do solo de Sta Genebra) e folhas (maior para os indivíduos da população de Cubatão).

Os indivíduos do solo de Sta Genebra proporcionalmente alocaram mais para a produção de sementes que para qualquer outra parte. Os indivíduos do solo de Cubatão alocaram a maior proporção em folhas. Este resultado sugere que no solo de Sta Genebra existem fatores que fornecem melhores condições para a produção de sementes que no solo de Cubatão.

A população de P. thyrsoflora não apresenta coeficientes de variação muito diferentes para as várias características nos solos diferentes (Tab. 10), à exceção de produção de sementes que é mais variável no solo de Cubatão. O resultado é semelhante ao encontrado para E. mollis nesta mesma situação (Tab. 6).

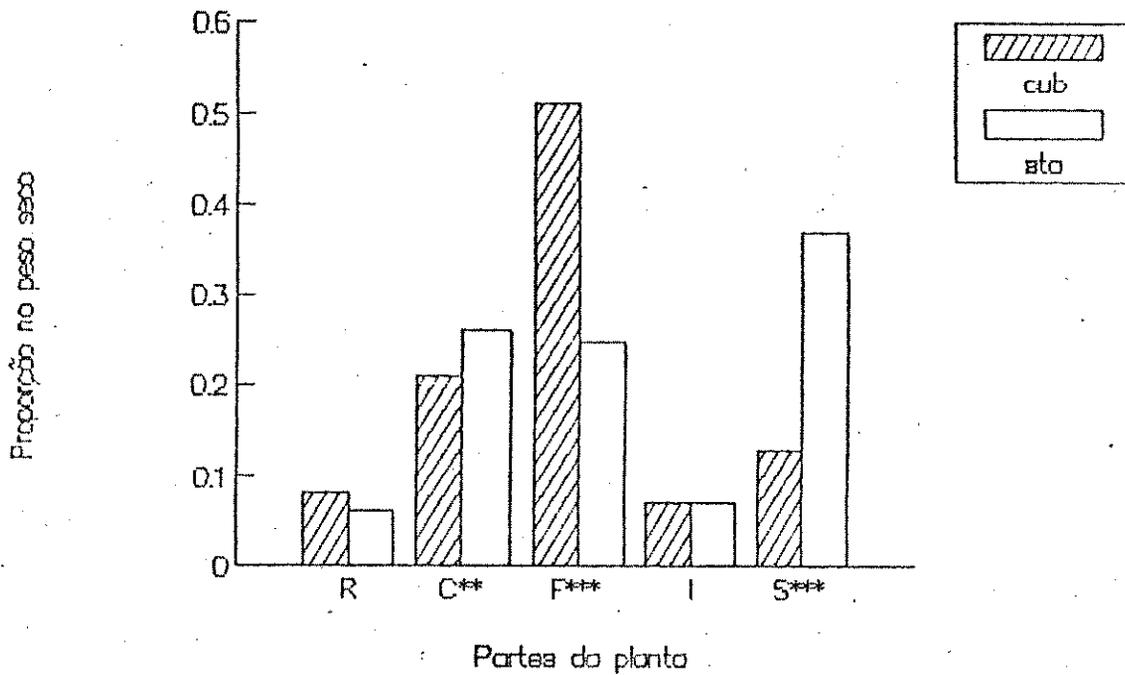


Figura 9 - Proporções de biomassa nas partes da planta da população de *P. thyrsoiflora* de Cubatão, plantada em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação, Campinas (R = raiz; C = caule; F = folhas; I = inflorescências; S = sementes). Estruturas acompanhadas de asterisco são significativamente diferentes.

Os indivíduos do solo de Sta Genebra cresceram muito mais que os do solo de Cubatão (Fig.10). Estes resultados são bastante semelhantes aos obtidos para E. mollis, nesta mesma situação experimental (Fig. 6). Aparentemente o solo de Cubatão influi fortemente, limitando o potencial de crescimento das plantas estudadas.

Todos os indivíduos que cresceram no solo de Sta Genebra chegaram a frutificar, o que não ocorreu no solo de Cubatão (Tab. 11). parece que os indivíduos da população de Cubatão, apesar de crescerem naturalmente nestes solos pobres, enfrentam dificuldades para reprodução e apresentam um desempenho melhor em outro solo menos estressante.

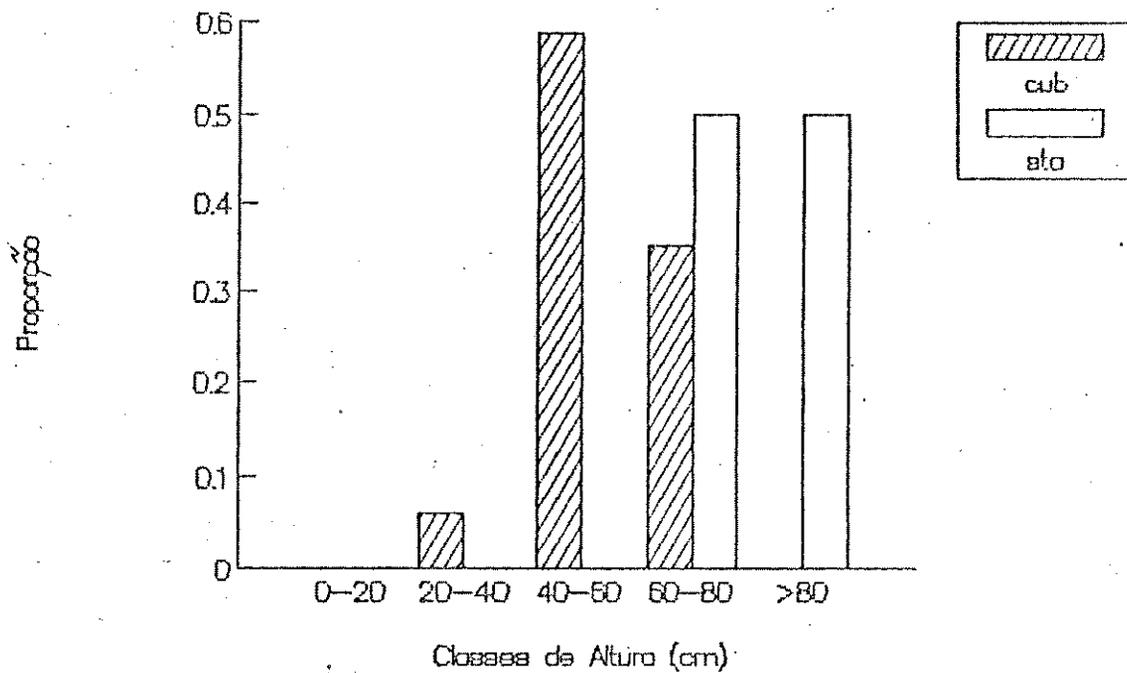


Figura 10 - Distribuição de indivíduos de *P. thyrsiflora* de Cubatão por classes de altura, plantados em solos diferentes (Cubatão e Sta Genebra), na casa de vegetação.

Tabela 11 - Frequência relativa dos indivíduos de P. thyrsiflora de Cubatão em solos distintos (Cubatão e Sta Genebra) na casa de vegetação. Porcentagens de frutificação nas classes de altura.

classe de altura (cm)	Cubatão		Sta Genebra	
	n	% frutificou	n	% frutificou
1-20	0	-	0	-
20-40	1	100	0	-
40-60	10	60	0	-
60-80	6	100	4	100
>80	0	-	4	100
Total	17	77	8	100

3.4. Testes de germinação.

Ambas espécies foram testadas quanto ao seu potencial de germinação, e apresentaram comportamentos bastante distintos.

As sementes de E. mollis apresentaram as seguintes características: germinaram rápida e sincronicamente (entre 5 e 6 dias após o início dos testes), e em altas porcentagens.

P. thyrsoflora apresenta características bem diferentes de E. mollis. Suas sementes demoram por volta de 30 dias após o início dos testes para iniciar a germinação. Uma vez iniciada a germinação, ela se estende por um longo período (aproximadamente 40 dias) para depois cessar por um outro período de tempo semelhante e reiniciar novamente. Apresenta portanto germinação intermitente, que poderia ser relacionada com a liberação de alguma substância desencadeasse esta germinação, ou com algum fator intrínseco.

P. thyrsoflora também necessita de grande embebição de água para germinar. Esta espécie é frequentemente encontrada em áreas com solos encharcados. Em todos os testes apresentou baixas porcentagens de germinação.

Tabela 12 - Porcentagens médias de germinação para sementes das populações naturais de E. mollis e P. thyrsoiflora de Cubatão e Sta Genebra. A duração do teste foi de 14 dias para E. mollis e 23 dias para P. thyrsoiflora.

Espécie	Cubatão		Sta Genebra	
	n	% germinação	n	% germinação
<u>E. mollis</u>	120	92	120	80
<u>P. thyrsoiflora</u>	120	45	120	18

As porcentagens de germinação das sementes das populações naturais de E. mollis são bastante altas para as duas populações (Tab. 12). Estas altas porcentagens de germinação indicam alta viabilidade das sementes.

Para P. thyrsiflora as porcentagens de germinação são baixas e variadas, o que pode ser atribuído tanto a uma baixa viabilidade das sementes, como a características próprias da germinação (lenta e intermitente). A população de Cubatão apresentou maior porcentagem de germinação que a população de Sta Genebra.

As porcentagens de germinação obtidas para as sementes de E. mollis nas várias situações experimentais estão resumidas na Tabela 13.

Para o jardim experimental as porcentagens para as duas populações são semelhantes, sugerindo que não houve diferença de germinação em relação à origem do indivíduo. Para os resultados obtidos na casa de vegetação. Tanto quando se compara origens diferentes, como solos diferentes as porcentagens são praticamente iguais.

Parece existir uma queda na porcentagem de germinação da população de Cubatão do jardim experimental em relação à população natural desta mesma área (Tab. 12). Porém, de um modo geral, as porcentagens obtidas nos experimentos são semelhantes às apresentadas pelas populações naturais. Neste caso, a germinação de sementes não parece estar sendo afetada nem por origem da população nem por diferença de solo.

Os resultados obtidos para P. thyrsiflora na casa de vegetação (Tab.14) mostram que as germinações são baixas e apresentam grande

variação. Desta forma, é difícil comparar estes resultados com os da população natural (que por sua vez também apresentam grande variação). Devido ao comportamento de germinação de P. thyrsiflora, as médias de porcentagem de germinação por si só, não permitem concluir sobre a influência de origem ou solo no potencial de germinação desta espécie.

De qualquer forma, as porcentagens apresentadas pelas situações experimentais estão dentro da faixa das porcentagens apresentadas pelas populações naturais.

Tabela 13 - Porcentagens médias de germinação para sementes de E. mollis coletadas de indivíduos do jardim experimental (duração do teste de 30 dias) e da casa de vegetação (duração do teste de 24 dias).

Local	origem	solo	n	% germinação
jardim experimental	Cubatão	-	2952	77
	Sta Genebra	-	3406	81
casa de vegetação	Cubatão	Cubatão	1700	91
	Sta Genebra	Cubatão	1400	90
	Cubatão	Sta Genebra	1700	88

Tabela 14 - Porcentagens médias de germinação para sementes de P.
thyrsoflora coletadas de indivíduos da casa de vegetação.
A duração do teste foi de 260 dias.

origem	solo	n	% de germinação
Cubatão	Cubatão	890	28
Sta Genebra	Cubatão	399	35
Cubatão	Sta Genebra	560	40

3.5. Análise química das plantas

Os dados apresentados nesta seção são analisados apenas qualitativamente, uma vez que não existem réplicas, e não é possível a realização de testes de significância entre os tratamentos.

3.5.1. teores totais

3.5.1.1. populações naturais

A Tabela 15 apresenta as concentrações dos elementos químicos analisados para as populações naturais de E. mollis e P. thyrsiflora.

As duas espécies apresentam distribuições semelhantes dos elementos químicos. Os macronutrientes Ca e Mg apresentam concentrações aproximadamente iguais para populações de origens diferentes, P porém, apresenta-se nitidamente mais concentrado nas populações provenientes de Cubatão. Entre os metais (micronutrientes e não nutrientes), Fe, Al, Mn e Zn estão muito mais concentrados nas populações de Cubatão, e P. thyrsiflora apresenta valores muito mais altos para a população de Cubatão em relação à população de Sta Genebra. Cu apresenta valores semelhantes para populações de origens diferentes.

Comparando estes resultados com valores que se espera sejam normalmente encontrados (ver anexo Tab. 20), observamos que dos macronutrientes, Ca e Mg estão dentro das faixas dos valores normais, porém, P apresenta, para as populações de Cubatão, valores superiores aos que normalmente são encontrados.

Os metais (à excessão de Cu) estão em concentrações bastante elevadas nas populações de Cubatão de ambas espécies. P. thyrsiflora especialmente, apresenta concentrações muito altas para Al, Mn e Zn.

Assim, as populações de Cubatão de ambas espécies apresentaram concentrações elevadas (acima do normalmente esperado) de vários elementos potencialmente tóxicos (Al, Fe, Mn e Zn), e muito superiores às apresentadas pelas populações de Sta Genebra.

Tabela 15 - Concentrações totais (ppm no peso seco) dos elementos químicos analisados para as partes aéreas de E.mollis e P. thyrsoiflora de Cubatão e Sta Genebra. (% = porcentagem da diferença).

Elemento (ppm)	<u>E.mollis</u>			<u>P.thyrsoiflora</u>		
	cub	sta	%	cub	sta	%
Fe	1877	> 873	115	1149	> 131	777
Al	1055	> 735	44	1774	> 264	572
Mn	975	> 338	189	2345	> 160	1366
Zn	96	> 72	33	209	> 56	273
Cu	7.8	= 8.2	5	13.2	> 11.5	15
Ca	7638	= 7781	2	5422	> 4519	20
Mg	3034	> 2270	34	3318	< 4042	22
P	3071	> 1685	82	4951	> 2087	137

3.5.1.2. E. mollis - Jardim experimental de Cubatão.

Os resultados dos teores totais das plantas do jardim experimental estão apresentados na Tabela 16.

Os metais Fe, Al e Mn se apresentam em concentrações extremamente altas, potencialmente tóxicas. As concentrações também são altas para Cu e Zn nas duas populações de origens diferentes.

Os macronutrientes estão nas faixas normais, inclusive P, e S está um pouco deficiente.

Podemos notar, por outro lado, que Fe, Al, Mn e Zn se apresentam mais concentrados na população de Sta Genebra que na população de Cubatão. Para os outros elementos não há diferença marcada de acúmulo ou redução de absorção que distinga uma população da outra.

Tabela 16 - Concentrações totais dos elementos químicos analisados para as populações de E.mollis (de Cubatão e Sta Genebra) do jardim experimental. Todas as concentrações são dadas em ppm do peso seco à exceção de SO₄ que é dada em porcentagem do peso seco. (% = porcentagem da diferença)

Elemento	<u>E.mollis</u>		
	cup	sta	%
Fe	4682	< 6208	33
Al	5621	< 6953	24
Mn	1122	< 1566	40
Zn	121	< 151	25
Cu	31	= 32	-
Ca	8796	< 10192	16
Mg	3388	> 2720	25
P	2196	= 2162	-
SO ₄	0.14	< 0.16	14

3.5.1.3. E. mollis - Casa de vegetação.

Os resultados obtidos para a análise química das plantas de E. mollis da casa de vegetação estão na tabela 17.

As tendências apresentadas pelo jardim experimental de Cubatão (Tab. 16) são mantidas nos resultados da casa de vegetação (Tab. 17). As concentrações de Fe, Al, Mn, Zn e Cu são altas embora não tão altas quanto as do jardim experimental de Cubatão. P também aparece em concentrações altas.

Fe e Al continuam sendo mais concentrados pela população de Sta Genebra, embora Zn esteja mais concentrado na população de Cubatão e Mn tenha concentrações praticamente idênticas nas duas populações.

As outras tendências (macronutrientes) permanecem semelhantes aos resultados do jardim experimental de Cubatão.

Talvez pudessemos pensar que a população de Cubatão poderia apresentar algum mecanismo para reduzir a absorção de concentrações excessivas desses dois metais, potencialmente tóxicos (Fe e Al) sob condições ácidas, o que não ocorre com a população de Sta Genebra cujos indivíduos não estão adaptados à presença de altos teores destes elementos e assim apresentam maiores concentrações. No entanto, a comparação de solos diferentes (cub-cub com cub-sta) exhibe diferenças bastante nítidas.

A população de Cubatão, quando crescendo no solo de Sta Genebra evidentemente apresenta menores concentrações para vários elementos. Fe, Al e Mn especialmente, e Cu e Zn em menor proporção, aparecem com valores bem menores e desta feita dentro das faixas normais de concentração. A quantidade de P também é inferior à apresentada

pelas plantas do solo de Cubatão. Outros macronutrientes permanecem aproximadamente nas mesmas concentrações.

Uma vez que os macronutrientes se apresentam em concentrações aproximadamente iguais para todos os tratamentos, podemos supor que as concentrações elevadas (potencialmente tóxicas) de vários metais exibidas pelas plantas que cresceram em solo de Cubatão, podem ter se constituído em fortes fatores limitantes de crescimento para estas populações.

Tabela 17 - Concentrações totais dos elementos químicos analisados para as populações de E.mollis da casa de vegetação, Campinas. Todas as concentrações são dadas em ppm no peso seco à exceção de SO₄ que é dada em porcentagem do peso seco. (% = porcentagem da diferença)

Elemento	origem:	cub	sta	%	cub	%
	solo:	cub	cub	origem	sta	solo
Fe		1100	< 1938	76	> 267	312
Al		2040	< 2798	37	> 639	219
Mn		2616	> 2499	5	> 80	3170
Zn		279	> 166	68	> 87	221
Cu		40	> 26	54	> 23	74
Ca		10161	< 11534	14	= 10157	-
Mg		3538	> 2384	48	> 3273	8
P		3536	> 2734	29	> 2226	59
SO ₄		0.21	> 0.18	17	= 0.20	-

3.5.1.4. P. thyrsiflora - Casa de vegetação.

Os resultados obtidos nas análises químicas para P. thyrsiflora estão apresentados na Tabela 18.

De um modo geral, os resultados apresentam tendências semelhantes a E. mollis. Plantas de origens diferentes plantadas em solo de Cubatão apresentam concentrações dos vários elementos praticamente idênticas. A semelhança é maior que para E. mollis, não aparecendo nenhuma tendência de maiores concentrações (de Fe e Al) na população de Sta Genebra, sugerindo, portanto, que a população de P. thyrsiflora de Cubatão não apresenta nenhum mecanismo de redução de absorção desses dois elementos.

As concentrações de Fe, Al, Mn, Zn e P se apresentaram bastante elevadas, acima do normalmente esperado. Como ocorreu para E. mollis, os metais se apresentam em concentrações potencialmente tóxicas e P está sendo acumulado.

Quando comparamos solos diferentes (cub-cub e cub-sta), observamos que os vários elementos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu) que estão em concentrações acima do normal na população que cresceu no solo de Cubatão, se apresentam em concentrações bem mais baixas, dentro das faixas normais, no solo de Sta Genebra. P aparece em concentração bem menor e Ca e Mg aparecem em concentrações maiores, evidenciando maior disponibilidade desses dois últimos elementos no solo de Sta Genebra.

Tabela 18 - Concentrações totais dos elementos químicos analisados para as populações de P.thyrsiflora da casa de vegetação, Campinas. Todas as concentrações são dadas em ppm no peso seco à exceção de SO₄ que é dada em porcentagem do peso seco. (% = porcentagem da diferença)

Elemento	origem:		sta	%	%	origem	
	cub	cub				cub	sta
Fe	820	>	730	12	>	445	84
Al	2219	>	2120	5	>	1406	58
Mn	3136	>	2863	10	>	639	319
Zn	235	<	260	10	>	78	201
Cu	28	=	27	-	>	14	100
Ca	8408	>	8028	5	<	15734	87
Mg	3612	<	4464	24	<	7657	112
P	8989	<	9529	6	>	729	1133
SO ₄	0.37	>	0.30	23	>	0.20	85

Os resultados obtidos para P. thyrsiflora concordam com os de E. mollis e indicam claramente que o solo de Cubatão é o fator mais importante na determinação das altas concentrações de metais exibidas pelas plantas das duas espécies.

Para E. mollis fica a possibilidade da população de Cubatão estar desenvolvendo, ou possuir de forma incipiente, algum mecanismo de redução de absorção de alguns metais tóxicos. Para P. thyrsiflora, esta tendência não foi observada, ficando claro que a origem das populações testadas não determina as concentrações exibidas nas plantas.

3.5.2. Alocação de elementos

Afim de caracterizar o padrão de alocação dos materiais das populações das plantas estudadas, a alocação de vários elementos químicos para as partes das plantas foi medida e comparada com a alocação da biomassa. As informações que procuramos obter foram: a) se as diferentes populações alocam diferentemente os elementos; b) como a alocação da biomassa para cada parte da planta se relaciona com a alocação dos elementos.

A figura 11 apresenta os resultados da alocação dos elementos químicos de E. mollis do jardim experimental de Cubatão.

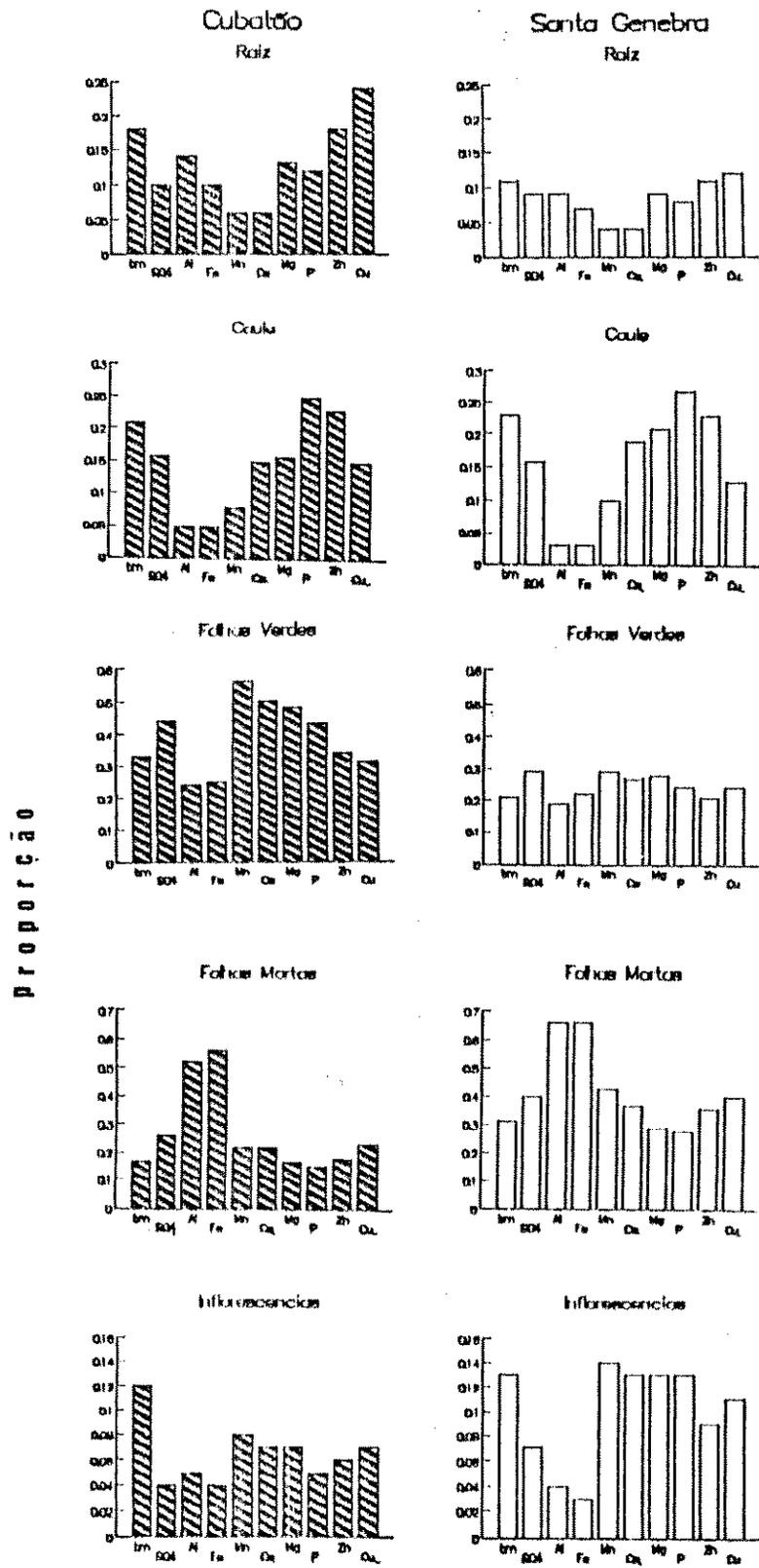


Figura 11 - Proporções no peso seco de biomassa e elementos químicos nas partes das plantas de *E. mollis* das populações do jardim experimental de Cubatão. Dentro de cada gráfico, os valores de alocação maiores que a biomassa (bm) indicam concentração dos elementos em relação à biomassa, e os valores menores indicam diluição.

Os resultados mostram diferenças entre as duas populações para todas as partes, à exceção do caule. Para raiz, as proporções dos vários elementos em relação à biomassa da raiz são as mesmas para as duas populações, à exceção do Cu que se apresenta bastante concentrado na população de Cubatão, o que não ocorre na população de Sta Genebra. O que difere entre as duas populações é a proporção de biomassa alocada para a raiz por cada população, o que por sua vez implica numa maior ou menor alocação dos elementos (excetuando-se o Cu). Assim, a população de Cubatão apresenta maiores proporções de biomassa e dos vários elementos químicos na raiz, do que a população de Sta Genebra.

Para caule, tanto a alocação de biomassa como dos elementos químicos são semelhantes para as duas populações, indicando não haver nenhuma diferença entre as duas populações para esta parte. Existe uma tendência à concentração de P e Zn.

Para folhas verdes, a maior parte dos elementos ou estão se concentrando ou sendo bem representados nesta parte da planta nas duas populações, porém existem algumas diferenças. Mn, Ca, Mg, P e SO_4 principalmente, apresentam proporções bem mais concentradas em relação à biomassa na população de Cubatão. Por outro lado, Al e Fe apresentam-se mais diluídos do que se apresentam na população de Sta Genebra.

A alocação de biomassa difere grandemente para as duas populações, determinando também grandes diferenças nas proporções de elementos alocados nesta parte para cada população (as alocações para

a população de Cubatão são consistentemente maiores).

Para folhas mortas, todos os elementos estão bem representados nesta parte, porém, o que se destaca são as concentrações muito altas de Al e Fe apresentadas pelas duas populações. Estes elementos estão claramente sendo preferencialmente alocados para esta parte da planta e portanto excretados. O padrão de alocação dos elementos em relação à biomassa é semelhante para as duas populações. O que varia é a proporção de biomassa alocada por cada população (Cubatão aloca menos biomassa para folhas mortas que Sta Genebra) que praticamente determina as proporções dos elementos nas folhas mortas.

Para inflorescências, as duas populações apresentam alocação de biomassa semelhante. Na população de Cubatão porém, todos os elementos químicos se apresentam diluídos, o que é bem diferente do que ocorre para a população de Sta Genebra. Nesta Mn está concentrado e Ca, Mg e P principalmente estão bem representados.

Outros elementos como Cu e Zn também apresentam proporções maiores nesta população do que na população de Cubatão.

Existem, portanto, duas situações distintas quando se compara as populações de origens diferentes: 1) onde a alocação de biomassa e dos vários elementos químicos se relacionam (p. ex. raiz, caule e folhas senescentes) e 2) onde as proporções dos vários elementos químicos não mantem relação com as proporções de biomassa dentro da parte da planta (p. ex. folhas verdes e inflorescências). O último caso envolve partes bastante ativas metabolicamente. Estas diferenças de proporções de elementos dentro de uma parte para populações de origens diferentes, poderiam indicar diferenças de atividade nestas partes.

Os resultados de alocação de elementos químicos e biomassa para plantas de E.mollis da casa de vegetação estão expressos na figura 12.

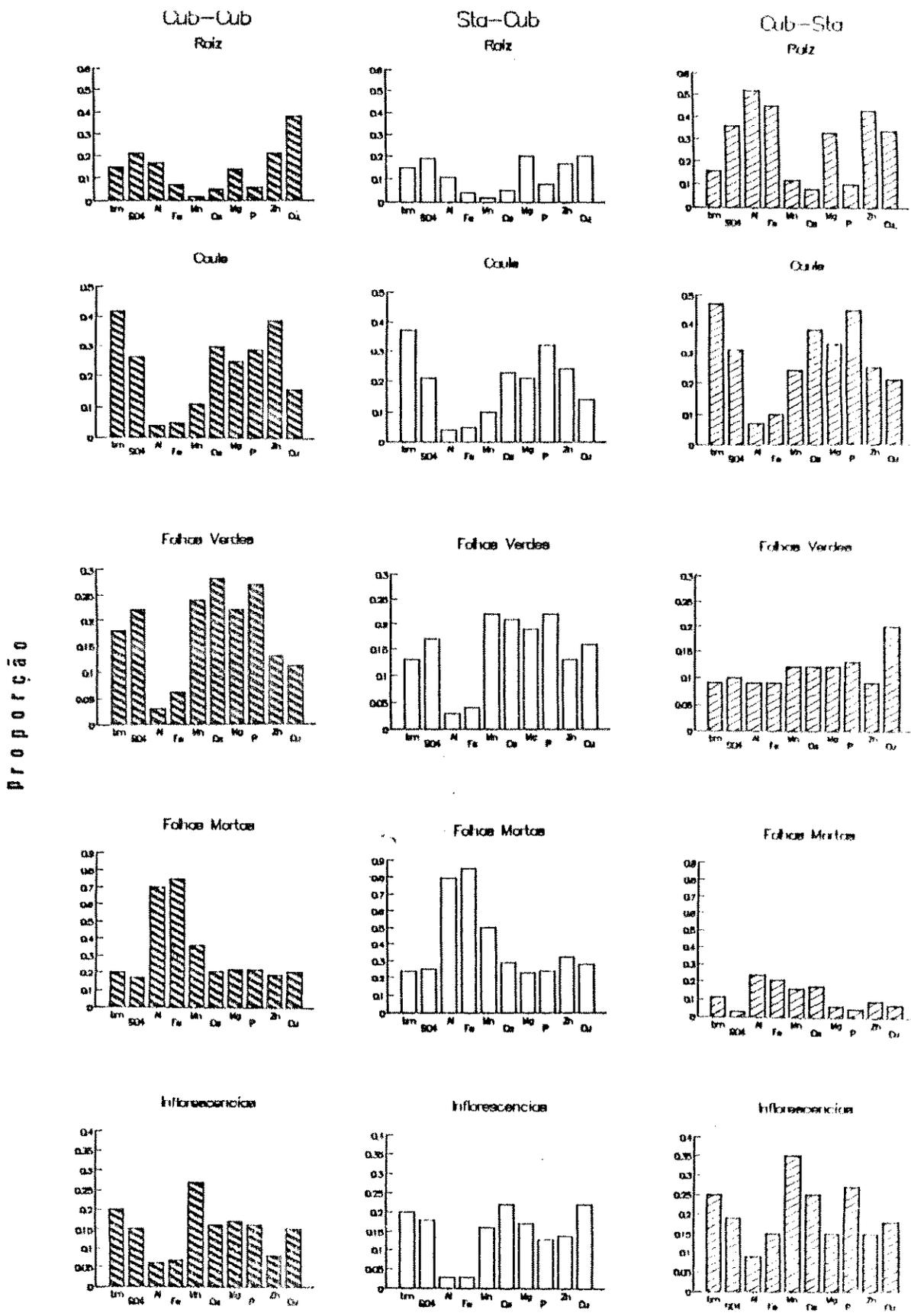


Figura 12 - Proporções no peso seco de biomassa e elementos químicos de indivíduos de *E. mollis* de Cubatão e Sta Genebra, plantados em solos diferentes na casa de vegetação. Dentro de cada gráfico os valores de alocação maiores que a biomassa (bm) indicam concentração em relação à

Comparando os gráficos para as populações de origens diferentes num mesmo solo (cub-cub e sta-cub) podemos observar as seguintes tendências:

Para raiz, ambas populações alocam as mesmas proporções de biomassa para raiz, porém, existem algumas tendências diferentes na alocação das substâncias químicas. A população de Cubatão concentra Cu em proporções bem maiores que a população de Sta Genebra. Esta mesma tendência foi apresentada pela população de Cubatão no jardim experimental de Cubatão. Outros elementos apresentam proporções levemente diferentes em relação à biomassa nas duas populações. Por exemplo, Al apresenta proporção maior na população de Cubatão do que na população de Sta Genebra, porém, de um modo geral, as diferenças não são muito grandes. Os resultados obtidos na casa de vegetação e no jardim experimental de Cubatão (Fig. 11) indicam que a população de Cubatão aloca maiores proporções de Cu para raiz do que a população de Sta Genebra, indicando um limite na translocação deste elemento por parte da população de Cubatão.

Para caule, nenhum elemento se apresentou em grandes proporções nas duas populações. Todos os elementos se encontram diluídos em relação à biomassa. O padrão de alocação dos elementos e da biomassa são bastante semelhantes, indicando não haver nenhuma diferença entre as populações. Estes resultados estão em concordância com os obtidos no jardim experimental de Cubatão.

Para folhas verdes, existem algumas variações na alocação dos elementos para esta parte da planta entre as populações. As duas populações apresentaram proporções altas, porém levemente diferentes em relação à biomassa para Mn e macronutrientes, e a população de Sta

Genebra apresenta maiores proporções para Cu e Zn do que a população de Cubatão. Semelhante ao que ocorreu no jardim experimental de Cubatão, houve uma maior alocação proporcional para folhas verdes na população de Cubatão, o que de um modo geral determina maiores proporções de macronutrientes para esta população. Um dado, porém, que difere dos resultados do jardim experimental de Cubatão são as proporções de Al e Fe. As populações da casa de vegetação apresentaram estes elementos bastante diluídos o que não ocorreu no jardim experimental de Cubatão.

Para folhas mortas, todos os elementos estão bem representados nas duas populações da casa de vegetação, e Al e Fe estão bastante concentrados em relação à biomassa.

As proporções dos elementos em relação à biomassa são bastante semelhantes entre as duas populações. O que há é uma diferença na alocação de biomassa, que é maior para a população de Sta Genebra e determina uma alocação geral maior para folhas mortas nesta população.

A tendência principal apresentada nas alocações das populações do jardim experimental de Cubatão foi mantida na casa de vegetação: a acentuada concentração de Fe e Al nas folhas mortas. Outras proporções quando comparadas às do jardim experimental se mostram um pouco diferente, especialmente Mn que se apresenta concentrado nas folhas mortas das duas populações da casa de vegetação e não apresentou uma tendência marcada neste sentido no jardim experimental de Cubatão.

Para inflorescências, as proporções dos elementos em relação à biomassa variaram nas duas populações. A população de Cubatão

apresentou Mn mais concentrado enquanto que a população de Sta Genebra apresentou Ca e Cu. Os padrões diferem entre as duas populações da casa de vegetação e também das populações correspondentes no jardim experimental de Cubatão. Entretanto, as tendências gerais do jardim experimental de Cubatão foram mantidas quando a situação foi transportada para a casa de vegetação (cub-cub e sta-cub), porém, as comparações entre solos diferentes (cub-cub e cub-sta) revelam diferenças acentuadas no padrão apresentado anteriormente.

Para raiz, a população de Cubatão plantada no solo de Sta Genebra (cub-sta) apresentou grandes proporções de Al e Fe nas raízes em relação à biomassa. Estes elementos foram preferencialmente alocados para folhas mortas no solo de Cubatão.

Vários outros elementos (SO_4 , Mg, Zn e Cu) também apresentaram maior concentração em relação à biomassa quando no solo de Sta Genebra. Cu é o único desses elementos que apresenta proporções semelhantes às apresentadas no solo de Cubatão.

Para caule, existe uma maior alocação de biomassa na população do solo de Sta Genebra, trazendo consigo concentrações proporcionalmente maiores de outros elementos. A alocação dos elementos em relação à biomassa, porém, é semelhante à apresentada no solo de Cubatão.

No caso de folhas verdes, a alocação de biomassa para esta parte é muito menor no solo de Sta Genebra, e o padrão de alocação dos elementos também muda. Cu que se apresentava concentrado apenas na raiz nas plantas do solo de Cubatão, apresenta grande concentração nas folhas verdes no solo de Sta Genebra. Al e Fe também se

apresentavam diluídos em folhas verdes de plantas crescendo no solo de Cubatão, embora apresentaram proporções maiores quando no solo de Sta Genebra.

A grande diferença na produção da biomassa de folhas mortas nos solos diferentes, contribui fortemente para a diferença de alocação dos elementos. Porém, Al e Fe, são os elementos mais concentrados nas folhas mortas nos dois solos diferentes, e estão bem mais concentrados em relação à biomassa no solo de Cubatão que no solo de Sta Genebra.

Para inflorescências, as proporções dos elementos em relação à biomassa não diferem muito entre solos. As principais tendências de "cub-cub" estão reproduzidas em "cub-sta". A maior diferença é a biomassa maior no solo de Sta Genebra, determinando proporções maiores de vários elementos nesta parte neste solo.

Desta forma, é bastante evidente que solos diferentes causam padrões de alocação de biomassa diferentes para quase todas as partes das plantas (a única exceção é caule), determinando grandes diferenças de proporções de elementos para estas partes. Solos diferentes também estão associados a diferenças na alocação de vários elementos entre as diferentes partes da planta (Ex: Cu concentrado na raiz de "cub-cub", e nas folhas verdes de "cub-sta"; Al e Fe concentrados nas folhas mortas de "cub-cub" e na raiz de "cub-sta").

O solo parece, desta forma, se constituir em um fator bastante determinante na alocação dos recursos destas populações, superando as próprias origens das populações. Pois, embora em algumas situações as populações tenham apresentado diferenças de alocação que podem ser atribuídas à origem diferente, estas diferenças não se apresentaram

tão fortemente marcadas, como aquelas ocorridas em solos diferentes.

Os resultados da alocação dos elementos químicos e biomassa para P. thyrsoiflora estão na Figura 13.

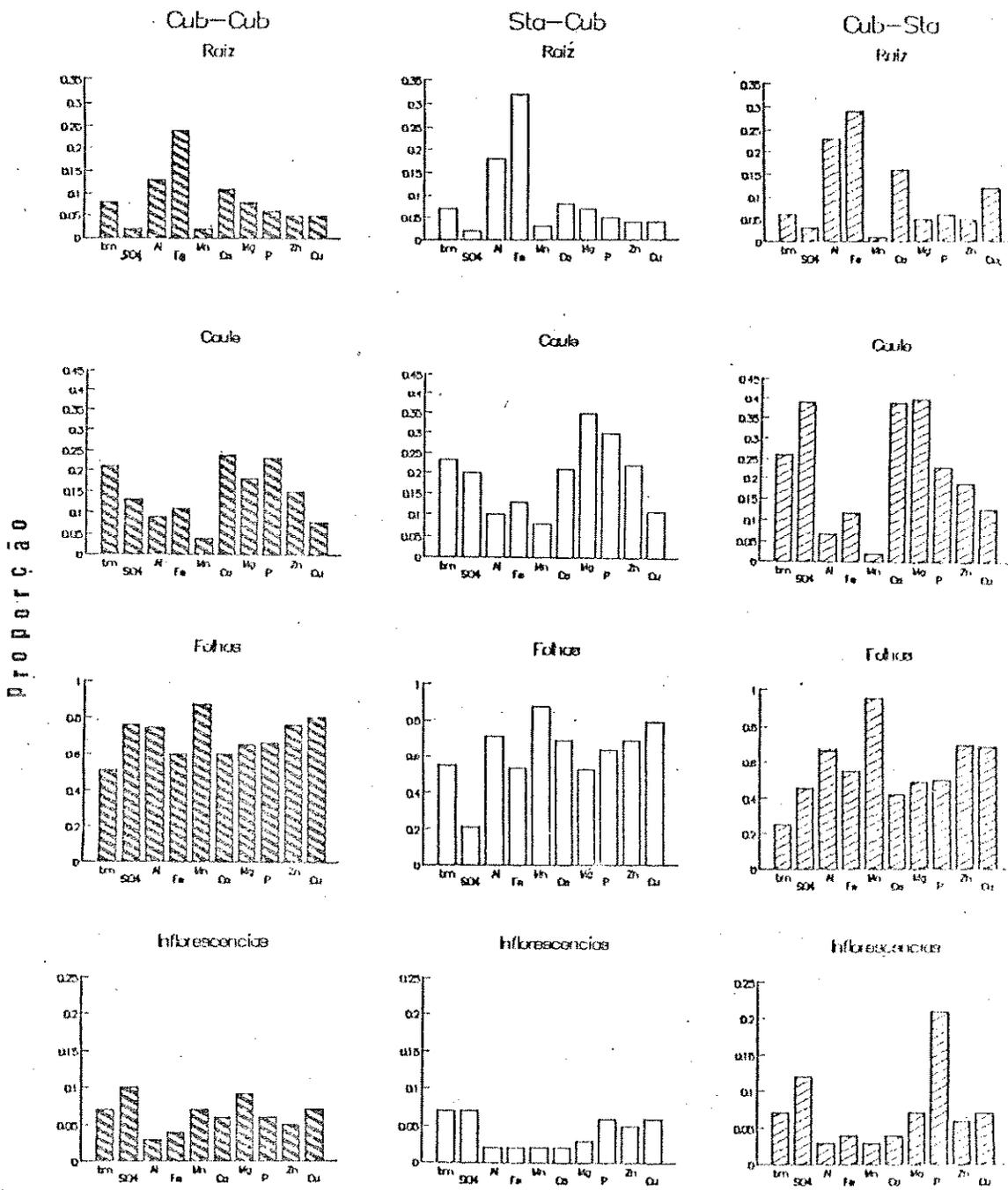


Figura 13 - Proporções no peso seco de biomassa e elementos químicos de indivíduos de *P. thyrsoiflora* de Cubatão e Sta Genebra plantados em solos diferentes na casa de vegetação. Dentro de cada gráfico os valores de alocação maiores que a biomassa (bm) indicam concentração em relação à biomassa, e os valores menores indicam diluição.

origem - solo
 cub - cub
 sta - cub
 cub - sta

As plantas de origens diferentes num mesmo solo (cub-cub e sta-cub) apresentaram as seguintes tendências:

Para raiz, Fe e Al estão bastante concentrados em relação à biomassa, nas duas populações de P. thyrsiflora. A alocação de biomassa e as proporções dos elementos químicos são bastante semelhantes, não aparentando nenhum efeito de origem da população sobre estes padrões.

Para caule, a alocação de biomassa e de vários elementos químicos são bem semelhantes. Uma alocação diferente ocorre para Mg que se apresenta concentrado em relação à biomassa apenas na população de Sta Genebra.

Para folhas, na população de Cubatão todos os elementos se apresentam bem representados ou concentrados. Para a população de Sta Genebra alguns elementos (SO_4 especialmente) estão diluídos. No entanto, de um modo geral, os padrões de alocação de biomassa e elementos são semelhantes.

Para inflorescências, na população de Cubatão alguns elementos estão concentrados (SO_4), o que não ocorre com a população de Sta Genebra onde todos os elementos estão diluídos.

Apesar de existirem algumas diferenças na alocação de alguns elementos, parece que a diferença de origem das populações não está causando mudanças de alocação de recursos muito marcadas.

No entanto, populações de uma mesma origem em solos diferentes (cub-cub e cub-sta), mostram algumas diferenças acentuadas.

Para raiz, no solo de Sta Genebra, Al e Fe se apresentam concentrados, como no solo de Cubatão, só que em proporções maiores em relação à biomassa. Ca e Cu também estão concentrados na raiz no

solo de Sta Genebra.

Para caule, existe uma grande diferença na alocação de biomassa que é bem maior para esta parte da planta no solo de Sta Genebra. A alocação dos elementos químicos também é diferente. SO_4 , Ca e Mg se apresentam em proporções maiores em relação à biomassa no solo de Sta Genebra.

Para folhas, a alocação de biomassa para esta parte é bem menor no solo de Sta Genebra do que no solo de Cubatão. Os elementos químicos, no entanto, estão todos concentrados em proporções bem altas e bem maiores em relação à biomassa no solo de Sta Genebra, refletindo um padrão bem diferente de alocação.

Para inflorescências, a alocação da biomassa é semelhante nos dois tipos de solos e o padrão geral de alocação dos elementos também. Porém, SO_4 e P principalmente, se concentram de forma diferenciada.

Os resultados obtidos para P. thyrsiflora, de um modo geral, são concordantes com os resultados obtidos para E. mollis na mesma situação experimental. Também para P. thyrsiflora o solo é um fator bastante determinante das proporções dos vários elementos químicos nas partes das plantas.

4. DISCUSSÃO

Uma ligeira caracterização das condições ambientais nas quais as duas populações de plantas estudadas estão crescendo indica situações bastante diferentes. Cubatão apresenta fatores ambientais, de origem antrópica (existência de poluição atmosférica, solos degradados e chuvas poluídas), que tornam as condições para o crescimento vegetal seguramente mais adversas em comparação com as condições de Santa Genebra (Salvador Filho et al, 1981; Bragança et al, 1987; Abbas, 1989).

As informações a respeito da poluição atmosférica existente na área estudada em Cubatão (Copebrás), indicam uma variedade de poluentes sendo lançados no ambiente de forma contínua, sugerindo uma situação crônica (Gepa, 1982; Queiroz Neto et al, 1984). Não há indícios de que um único fator estressante dominante esteja presente, mas sim de que uma variedade de fatores estejam exercendo pressão de seleção em várias direções.

Por outro lado, a liberação dos poluentes no ambiente bem como a sua dispersão não ocorre de forma homogênea, devido à heterogeneidade tanto da natureza dos processos tecnológicos envolvidos como da distribuição espacial das fontes poluidoras (Gepa, 1982), o que provoca concentrações variadas de diversos poluentes, e resulta em um ambiente heterogêneo e complexo (Cetesb, 1985a). A própria degradação da cobertura vegetal da Serra do Mar, indica que o nível com que esta degradação ocorre, varia em função da exposição das encostas às emissões de poluentes, tendendo a ser mais grave nas

áreas próximas ao parque industrial (Bragança et al, 1987). Com relação às águas de chuva, também já foi observado que existem, dentro da própria região de Cubatão, precipitações localizadas que diferem nas suas composições químicas (Cetesb, 1984; Cetesb, 1985b; Abbas, 1989).

A caracterização química dos solos, em especial, distingue as duas áreas estudadas. O solo de Cubatão apresenta conhecidos fatores limitantes do crescimento vegetal (acidez, baixa fertilidade, concentrações potencialmente tóxicas de alguns metais, especialmente Fe e Al) o que não ocorre no solo de Sta Genebra, que apresenta condições mais favoráveis para o crescimento.

A acidez dos solos da área de estudo em Cubatão está provavelmente relacionada com a composição química das rochas que originam o solo da região, o granito-gnaiss. Estas rochas dão origem a solos ácidos e inférteis (Daubenmire, 1974). Outro fator que também pode contribuir para a formação de ácidos nos solos é a quantidade de SO_2 liberado pelas indústrias locais. Fumaças e gases de indústrias, especialmente SO_2 , podem ser formadores de ácidos no solo em regiões industriais (Daubenmire, 1974).

Em Cubatão, a acidez e baixa fertilidade do solo, também podem ser potencializadas pelas perturbações razoavelmente frequentes que ocorrem na área (Bragança et al, 1987), como por exemplo o desmatamento. Estas perturbações resultam numa maior exposição dos solos e possivelmente numa maior lixiviação das bases. De fato, os macronutrientes (Ca, Mg e K) nos solos da área de estudo em Cubatão, estão disponíveis em baixas concentrações, e podem estar sendo lixiviados, uma vez que em locais de alta pluviosidade, é conhecida a

perda destes elementos com a percolação das águas (Allen et al, 1974; Bradshaw & Chadwick, 1980). Adicionalmente, o pH baixo em solos (< 5,0), também tem o efeito secundário de causar uma maior indisponibilidade dos macronutrientes, os quais são mais solúveis em pH mais altos (Bradshaw & Chadwick, 1980). Assim, Ca, N, Mg e K também podem estar, em parte, indisponíveis nos solos de Cubatão, devido ao baixo pH.

No entanto, fósforo apresenta concentrações adequadas e até mesmo elevadas nos solos da área de estudo em Cubatão, apesar da literatura indicar uma alta remoção por lixiviação deste elemento em solos tropicais, e disponibilidade bastante reduzida em pH inferior a 5,5 (Allen et al, 1974; Bradshaw & Chadwick, 1980). Isto sugere fortemente que este elemento deve ter uma via de entrada no solo através da deposição atmosférica do material particulado rico em P existente na área.

Por outro lado, não há acúmulo de micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe) nos solos da área de estudo de Cubatão, embora o pH baixo também tenha o efeito de favorecer a solubilização e disponibilidade destes elementos (Allen et al, 1974; Bradshaw & Chadwick, 1980). Como estes elementos costumam estar presentes em quantidades suficientes em solos ácidos brasileiros (Malavolta, 1976), e também existe a possibilidade de estarem se depositando no solo por meio do material particulado proveniente das indústrias, pode-se sugerir que uma alta lixiviação dos mesmos pode estar evitando o acúmulo. Vários autores (Bradshaw & Chadwick, 1980; Kabata-Pendias & Pendias, 1984) afirmam que em regiões muito úmidas, os solos são drenados livremente e normalmente não há acúmulo de sais livres especialmente em solos

ácidos. Embora Fe e Mn não estejam acumulados, podem potencialmente produzir efeitos tóxicos em plantas em solos ácidos (Foy, 1976). Os sais de metais lixiviados podem ser carregados até rios e riachos, e em Cubatão, constatou-se a contaminação de Cu e Zn, entre outros metais, em sedimentos de rios e no mangue (Boldrini & Pereira, 1987), que pode estar ocorrendo, em parte, devido à lixiviação.

Entretanto, ocorre acúmulo de Al nos solos de Cubatão, o que provavelmente está relacionado com a origem da rocha-mãe (granito-gnaiss) e com o baixo pH destes solos. Al é extremamente solúvel em condições ácidas e normalmente tóxico em pH inferior a 5,0 (Allen et al, 1974; Foy, 1976; Bradshaw & Chadwick, 1980; Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Em concentrações tóxicas Al provoca diminuição do crescimento vegetal, além de outros distúrbios fisiológicos (Foy, 1976; Malavolta, 1976). Além dos efeitos tóxicos diretos, excesso de Al pode interferir na absorção de Ca, Mg e em especial de P, pois se combina com fosfato no solo formando complexos insolúveis, e tornando P indisponível para as plantas (Bradshaw & Chadwick, 1980). Assim, a presença de concentrações altas de Al no solo de Cubatão indica um possível efeito tóxico, tanto por efeitos diretos como indiretos nas plantas que aí se desenvolvem.

Desta forma, as condições improdutivas dos solos de Cubatão devem impor um estresse nutricional para as populações de plantas que neles se desenvolvem, tanto por deficiência de vários macronutrientes como pela presença de concentrações potencialmente tóxicas de metais.

Outros autores também encontraram resultados semelhantes em análises de solos da região de Cubatão. Silva Filho (1988) analisando amostras de solos de cinco locais diferentes de Cubatão e

da Serra do Mar, sujeitos a níveis diferentes de degradação, encontrou em todos eles pH bastante baixos (2,9 - 3,7) e baixos teores de macronutrientes. Conduzindo experimentos de germinação nestes solos, também verificou que em tres deles havia interferência no processo de germinação de Phaseolus vulgaris, concluindo que estes solos podem potencialmente interferir na emergência e estabelecimento de uma população inicial no campo.

Em outro estudo, amostras de solos coletadas na Serra do Mar, próximo à região de Cubatão-Centro, apresentaram pH fortemente ácido (3,7 - 4,3), concentrações de Ca e PO_4 anormalmente baixas e valores de Al elevadíssimos (Moreira-Nordemann et al, 1983). Os autores sugerem a existência de intensa lixiviação na região. As concentrações baixas de PO_4 provavelmente se explicam pela distância das fábricas produtoras de fertilizantes, dos locais onde foram feitas as amostragens de solo.

A composição química das plantas, em geral, reflete a composição de seu meio de crescimento, embora esta relação possa ser variável e influenciada por muitos fatores (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Por outro lado, poluentes podem ter efeitos genéticos e evolutivos sobre as plantas (Godbold & Huttermann, 1985). Assim, a composição química das plantas pode indicar como as concentrações dos vários elementos se relacionam com as respostas ao estresse nutricional, apontando possíveis adaptações ao ambiente.

Os resultados da análise química das plantas estudadas, indicam claramente a alta disponibilidade de vários elementos como Fe, Al, Mn, Zn e P, para as plantas que crescem em Cubatão ou em solo de Cubatão.

As altas concentrações de P nas plantas provavelmente são decorrentes das emissões das indústrias de fertilizantes, que como já foi discutido, devem suprir os solos com altos teores deste elemento.

Por outro lado, a presença de altas concentrações de metais (Al, Fe, Mn, Zn) nas plantas que crescem em solo de Cubatão, mas na casa de vegetação em Campinas, indica que boa parte da absorção destes elementos deve ser feita pelas raízes a partir do solo. Normalmente, a principal fonte destes elementos para as plantas é o solo, e a absorção apresenta uma correlação positiva com a abundância do elemento (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Assim, embora nos solos de Cubatão não haja acúmulo de metais (à exceção de Al), certamente há uma alta disponibilidade destes elementos para as plantas, resultando na absorção de altas concentrações, potencialmente tóxicas, em comparação com as concentrações exibidas pelas plantas que crescem no solo de Santa Genebra.

Entretanto, plantas de Elephantopus mollis de origens diferentes apresentaram alguma diferença na composição química, quando crescendo em Cubatão ou em solo de Cubatão. As plantas originárias da população de Cubatão, apresentaram em seus tecidos, concentrações menores de Al e Fe do que as plantas da população de Santa Genebra nestas mesmas condições. Como plantas podem exercer controle sobre a absorção de alguns elementos através de reações fisiológicas apropriadas (Kabata-Pendias & Pendias, 1984), pode-se sugerir que as plantas da população de Cubatão possuam algum mecanismo, embora não muito eficiente, que reduza a absorção destes metais quando se encontram em concentrações excessivas. Mecanismos que reduzem a absorção destes metais já foram observados em algumas espécies ou

genótipos. Foy et al (1978) citam exemplos de plantas cujas raízes tem a capacidade de aumentar o pH a sua volta, e desta forma diminuir a disponibilidade e a absorção de Al. Para Fe, Tanaka et al (em Kabata-Pendias & Pendias, 1984) verificaram que a raiz do arroz pode promover a oxidação e deposição deste elemento sobre sua superfície.

As plantas da população originária de Santa Genebra, em geral, apresentam concentrações comparativamente mais altas para uma parte dos elementos, em relação à população de Cubatão, e não parecem ter nenhum mecanismo de controle de absorção. Estas concentrações mais altas, porém, podem ser simplesmente o resultado de uma maior taxa de absorção, devido ao crescimento mais rápido apresentado por estas plantas, em comparação com as plantas da população de Cubatão.

Plantas das duas populações de Phytolacca thyrsoiflora aparentemente não apresentam nenhum mecanismo seletivo na absorção dos elementos.

Por outro lado, em Cubatão, além da disponibilidade alta de metais no solo, Fe, Al e Mn também podem estar disponíveis para as plantas, a partir do material particulado que contém esses elementos, que podem se depositar nas superfícies das folhas. De fato, esses metais podem estar sendo absorvidos por folhas, uma vez que as concentrações nas plantas de E. mollis que crescem no jardim experimental de Cubatão são bem maiores que as concentrações das plantas que crescem no solo de Cubatão, mas na casa de vegetação. A absorção foliar desses elementos já foi observada por vários autores em diferentes plantas (Malavolta, 1976). Além disso, impacto significativo na contaminação de plantas já foi verificado em ambientes onde há disponibilidade de elementos-traço a partir de

fontes aéreas (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Vários autores tem observado que elementos como Al, Fe, Mn, Zn e Cu, em concentrações excessivas, limitam o crescimento vegetal além de provocar desordens metabólicas (Allen et al, 1974; Bradshaw & Chadwick, 1980; Kabata-Pendias & Pendias, 1984). Folhas de Betula pendula, por exemplo, apresentaram área e peso foliar reduzidos os quais se correlacionavam positivamente com a presença em níveis elevados de Fe, Al e Mn em seus tecidos (Bradshaw & Chadwick, 1980). Vários autores também observaram diminuição na produção de várias culturas devido à poluição metálica (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

As plantas das espécies estudadas, indistintamente da origem da população, apresentaram crescimento reduzido e reprodução limitada nas condições ambientais de Cubatão ou no solo de Cubatão. Assim, podemos sugerir que, as concentrações bastante altas de metais absorvidos pelas plantas devem contribuir, em parte, para este desempenho limitado, quando comparado com o melhor desempenho apresentado pelas plantas que crescem no solo de Santa Genebra.

Porém, apesar das limitações impostas ao crescimento, as plantas estudadas sobrevivem nestas condições e acumulam concentrações bastante altas de metais em seus tecidos. Este é um fenômeno comum, muitas plantas tem a capacidade de acumular grandes quantidades de metais como Cu, Zn, Al, Mn e Fe (Foy, 1976; Malavolta, 1976; Bradshaw & Chadwick, 1980; Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Esta acumulação sugere que as plantas estudadas devem possuir resistência à toxidez dos metais, possibilitando que sobrevivam, mesmo com a absorção de altas concentrações. A distribuição dos elementos químicos pelas partes das plantas, sugere para E. mollis,

pelo menos de forma preliminar, dois mecanismos de resistência à toxidez: a localização e acumulação de Cu na raiz, e a excreção de Al e Fe através da acumulação nas folhas velhas.

As duas populações de E. mollis indistintamente, quando sujeitas às altas concentrações de Al e Fe no solo de Cubatão, transportam grandes proporções desses elementos para folhas mortas. Al e Fe são dois elementos que, de um modo geral, são basicamente estocados nas raízes das plantas. A translocação para as partes aéreas pode indicar um mecanismo de resistência, através da excreção dos excessos pelas folhas mortas. Foy (1976) e Foy et al (1978) indicam que a resistência a Al pode estar diretamente associada com a acumulação nas partes aéreas, e que acumuladores de Al são especialmente comuns entre famílias de espécies tropicais. A planta de chá, por exemplo, se protege contra a injúria de Al, pelo menos em parte, pelo aprisionamento da maior parte do excesso de Al nas folhas mais velhas, enquanto as folhas mais novas contém muito menos Al. Fe também não é prontamente translocado para os tecidos aéreos (Foy et al, 1978), mas pode ser acumulado em folhas velhas (Kabata-Pendias & Pendias, 1984).

Abrahanson & Caswell (1982) também encontraram altas concentrações de Fe e Al em folhas senescentes de Verbascum thapsus, uma espécie herbácea bianual, que ocorre em áreas perturbadas como beira de estrada.

Este mecanismo de excreção apresentado por E. mollis parece ocorrer em função das altas concentrações de Al e Fe, pois quando a população de Cubatão cresceu em solo de Santa Genebra, esses elementos passaram a se concentrar mais nas raízes. A alocação de

grandes proporções desses elementos para folhas mortas, parece ser portanto, uma resposta em origem plástica, desta espécie.

Outra situação ocorre com o elemento Cu. Ele é consistentemente mais alocado para raízes, onde é acumulado, na população de E. mollis de Cubatão, do que na população de Santa Genebra, independentemente do solo onde ocorre o crescimento.

Segundo Kabata Pendias & Pendias (1984) raízes, de um modo geral, tem forte capacidade de acumular Cu, tanto em condições de deficiência como em excessos desse elemento, de forma que quando absorvido pelo sistema radicular existe a tendência de ficar preso e não ser transportado para a parte aérea. Por outro lado, Cu é um elemento relativamente móvel dentro da planta, e se absorvido pelas folhas pode ser translocado para outros tecidos inclusive a raiz, onde excessos são estocados.

Pelo menos de forma preliminar, este parece ser um mecanismo de resistência restrito à população de Cubatão, que evitaria translocar concentrações excessivas de Cu para as partes aéreas, significando uma adaptação selecionada, desta população que está permanente numa área sujeita à altas concentrações de Cu.

Para os outros dois metais (Mn e Zn) não há nas plantas de E. mollis uma indicação, pelo padrão qualitativo de distribuição dos elementos, da existência de mecanismos de resistência semelhantes.

Também, P. thyrsoiflora não parece apresentar nenhum mecanismo de resistência semelhante aos apresentados por E. mollis, de modo que as plantas de origens diferentes, ou que crescem sob condições de excessos de metais no solo de Sta Genebra, apresentam padrões semelhantes de distribuição dos elementos. Al e Fe, por exemplo, se

concentram nas raízes das plantas de P. thyrsiflora, o que poderia ser um mecanismo de localização dos excessos destes elementos neste órgão, porém, na população que cresce no solo de Santa Genebra, as mesmas proporções destes elementos são encontradas. No entanto, P. thyrsiflora pode possuir outros mecanismos de resistência que protejam as plantas de injúrias maiores, não evidenciados por esta análise, e que tornem a espécie como um todo, habilitada a sobreviver nestas condições. P. thyrsiflora pode ter, portanto, uma tolerância inerente a uma variedade de tipos de solos, e com isso ter uma grande amplitude ecológica.

Silva Filho (1988) também observa, que P. thyrsiflora não está presente em Cubatão ao longo de todo o ano, estando ausente especialmente no inverno, época em que a situação da poluição atmosférica se agrava na região, e sugere, que a fenologia desta espécie pode estar contribuindo para a resistência à danos por poluentes, e para a sua permanência na área.

Assim, parece que as duas espécies estudadas, de características ecológicas diferentes, respondem de formas diferentes aos estresses impostos pelo ambiente. Os evidentes mecanismos de resistência apresentados por E. mollis podem se relacionar com as características de sua história de vida, uma vez que, plantas perenes que se desenvolvem em solos inférteis, como os de Cubatão, devem ter a capacidade de sobreviver nessas condições estressantes, por períodos de tempo mais prolongados.

Por outro lado, P. thyrsiflora é uma espécie efêmera, que se estabelece apenas temporariamente, talvez por isso, não apresente

nenhum mecanismo de resistência mais específico para os elementos potencialmente tóxicos.

Há evidências de que as histórias de vida das plantas, também se relacionam com a estratégia de utilização de nutrientes. Num estudo, Van Andel & Vera (1977) verificaram que plantas da espécie anual Senecio sylvaticus apresentavam maior quantidade de nutrientes em seus tecidos (Ca, Mg, K, Na) conforme crescessem em solos que tivessem maior quantidade desses nutrientes, enquanto que na espécie perene Chamaenerion angustifolium, as diferenças de concentrações dos nutrientes nos tecidos, das plantas que cresciam em solos com diferentes graus de fertilidade, eram pequenas. Estes resultados se assemelham aos obtidos para E. mollis e P. thyrsoiflora, pelo menos no que concerne a absorção de Ca e Mg.

Por outro lado, as limitações de crescimento e reprodução apresentadas pelas plantas que crescem sob as condições ambientais de Cubatão parecem estar fortemente ligadas às condições edáficas, embora as limitações mais acentuadas sejam evidenciadas por E. mollis crescendo no jardim experimental de Cubatão, e que provavelmente envolvem outros fatores estressantes, como por exemplo, a grande variedade de poluentes atmosféricos como SO₂ e fluoretos.

O crescimento limitado parece ser, portanto, uma resposta direta às condições estressantes do ambiente.

Vários autores verificaram que sob condições de estresse nutricional plantas diminuem o crescimento e/ou a reprodução (McNaughton et al, 1974; Van Andel & Vera, 1977; Lovett Doust, 1980b; McGee et al, 1981).

Porém, apesar da redução de crescimento generalizada, plantas de E. mollis de origens diferentes, apresentaram consistentemente, desempenho diferente, quando cresceram no solo de Cubatão.

A população de E. mollis originária de Cubatão, apresentou em geral, tendências para uma altura menor, maior proporção de biomassa para folhas verdes e menor para folhas senescentes, além de uma menor produção de sementes, em comparação com a população originária de Sta Genebra. Sendo E. mollis uma espécie herbácea, perene, de crescimento contínuo, estes resultados sugerem que os indivíduos da população de Cubatão estariam apresentando um crescimento mais lento em relação aos de Sta Genebra. Estas diferenças de desenvolvimento fenológico observadas, resultariam de diferentes taxas de crescimento e padrões de desenvolvimento.

Poderíamos sugerir que o padrão de crescimento lento da população de Cubatão seria uma resposta adaptativa desta população aos estresses impostos pelas condições edáficas locais.

Segundo Grime (1988), o estresse nutricional em intensidade moderada atinge o vigor das plantas, mas se é severo e/ou contínuo, pode exercer uma forma específica de seleção, a qual promove a predominância de espécies com histórias de vida semelhantes em habitats inférteis. A característica típica de plantas que crescem em solos deficientes é a taxa de crescimento lenta (Grime, 1979). Reduções na taxa de crescimento e na estatura seriam adaptações à baixa fertilidade, porque a planta teria taxas mais lentas de absorção nutricional para o crescimento ótimo (Daubenmire, 1974; Grime, 1979; Chapin III, 1980), além de uma taxa de reposição de tecidos mais lenta, e portanto, menor risco de perda de nutrientes

(Crick & Grime, 1987).

Por outro lado, plantas de crescimento lento de habitats inférteis, podem manter concentrações altas de nutrientes nos tecidos, e não apresentar sintomas de deficiências para macronutrientes. Desta forma, o crescimento lento teria um papel adaptativo ao manter a efetividade metabólica sob as condições de estresse nutricional (Chapin III, 1980).

Kruckberg (1954), por exemplo, observou que certos ecótipos de plantas herbáceas adaptadas a solos de serpentina, cresciam lentamente em comparação com ecótipos de habitats férteis, mesmo em solos férteis. Outros autores confirmaram que há uma forte correlação entre taxa de crescimento lento e tolerância à deficiência nutricional (Grime, 1979).

Plantas de solos inférteis também apresentam atraso no processo reprodutivo, pois devido as taxas de crescimento lento, devem crescer por um período de tempo mais longo antes de acumular reservas suficientes para reproduzir (Chapin III, 1980).

Assim, estas características (redução no vigor vegetativo e reprodutivo) podem ser adaptações que permitem a sobrevivência em ambientes continuamente improdutivos (Chapin III, 1980; Grime, 1979, 1988)

Por outro lado, plantas adaptadas a outros estresses como seca, salinidade, sombra e baixa temperatura também crescem lentamente e partilham muitas dessas características básicas de plantas adaptadas a solos inférteis. Isto reforça o conceito de características fisiológicas interdependentes constituindo uma estratégia adaptativa tolerante ao estresse (Chapin III, 1980; Grime, 1988).

A população de E. mollis está continuamente sujeita às condições nutricionais estressantes de Cubatão, assim a taxa de crescimento mais lento que apresenta, poderia significar uma resposta adaptativa em função dos estresses ambientais. A população de Sta Genebra tem um desempenho mais semelhante ao de plantas de ambientes férteis, apresenta uma taxa de crescimento mais rápida, e aloca mais para reprodução comparativamente com a população de Cubatão, ou seja, não apresenta adaptações para solos com estresse nutricional.

Por outro lado, os indivíduos de Sta Genebra, supostamente não tão bem adaptados para os solos estressantes, apresentam comparativamente uma maior produção de sementes, e portanto maior aptidão, o que é paradoxal. Isto em parte, pode ser resultado de um artefato metodológico, relacionado com o tempo de amostragem do estudo, pois a população de Cubatão com taxas de crescimento mais lentas, poderia estar com o processo reprodutivo mais atrasado no momento do encerramento do experimento. De fato, já foi observado em experimentos de curta duração, que espécies de sítios inférteis geralmente crescem mais lentamente que espécies de sítios férteis (Chapin III, 1980). Adicionalmente, consistentemente menos indivíduos da população de Sta Genebra se reproduzem em solo de Cubatão embora alguns produzam muitas sementes, enquanto mais indivíduos da população de Cubatão se reproduzem, embora com uma produção menor de sementes. Isto sugere que a mais longo prazo, mais indivíduos de Cubatão, em comparação com os de Sta Genebra, podem estar em condições para se reproduzir neste ambiente.

Por outro lado, devido à população de Sta Genebra ter apresentado nos experimentos, maior aptidão, e os caracteres de

crescimento e reprodutivos apresentarem grande variação, podemos pensar também que, as diferentes populações de E. mollis apresentam desenvolvimento fenológico diferente, como produto de outras pressões dos diferentes ambientes que tem ocupado. Ou os padrões diferentes podem também, representar mais acidentes históricos que adaptações especiais formadas por seleção natural, resultado de isolamento dessas populações e deriva genética.

Se contudo, as características de crescimento da população de Cubatão representarem adaptações à solos inférteis, estas características só devem ser vantajosas nos ambientes estressantes. Grime (1979), por exemplo, afirma que "não há evidências de que plantas normalmente restritas a solos inférteis, sejam melhor adaptadas que as de habitats férteis para manter a produção de matéria seca, mesmo quando os nutrientes minerais são supridos em taxas baixas". De fato, as plantas de ambientes inférteis sofrem pressão para conservar os nutrientes minerais (através do crescimento lento), ao invés de maximizar a taxa de captura

Adicionalmente, variação intraespecífica com relação ao padrão de crescimento tem sido observada. A gramínea Agrostis tenuis (Jowett, 1964 em Grime, 1979) por exemplo, possui populações de pastos com plantas com crescimento potencialmente rápido, e populações em solos inférteis, como rejeitos de mineração, com plantas de estatura menor e taxa de crescimento mais lenta.

Para P. thyrsoflora, porém, ocorre uma situação diversa. Nenhuma característica de crescimento foi significativamente diferente para as duas populações de origens diferentes, quando plantadas no solo de Cubatão. Ou seja, não há diferentes estratégias

geneticamente determinadas, as duas populações respondem de forma semelhante às condições impostas pelo solo de Cubatão.

McNaughton et al (1974) estudando Typha latifolia, também encontraram populações de origens diferentes que apresentavam padrões de desenvolvimento semelhantes em solos contaminados com metais pesados, sem nenhuma evidência de diferenciação nas respostas às condições tóxicas.

Gibson & Risser (1982), estudando populações de Andropogon virginicus provenientes de tres sítios com diferentes níveis de metais pesados, também verificaram que não havia diferenciação ecotípica entre as populações, pois estas apresentavam características de crescimento semelhantes, apesar de apresentarem altos teores dos metais em seus tecidos. Os autores sugerem que as populações eram geneticamente semelhantes em sua habilidade de tolerar condições edáficas estressantes.

Este resultado para P. thyrsoiflora, diferente do encontrado para E. mollis, poderia novamente sugerir que as histórias de vida diferentes das duas espécies podem estar influenciando nas respostas diferentes ao estresse.

P. thyrsoiflora apresenta características típicas de uma espécie ruderal, ou seja, especializada para ocupar uma área apenas temporariamente favorável para seu crescimento. Para estas espécies, o maior valor de sobrevivência está em completar rapidamente o ciclo de vida, através de um crescimento rápido e a produção de grande quantidade de sementes, ou seja, ocupar rapidamente locais abertos por distúrbio. A resposta das ruderais ao estresse, em geral é encurtar o ciclo de vida e maximizar a produção de sementes (Grime,

1979). De fato, os resultados para P. thyrsiflora mostram que, embora, as diferenças de produção de sementes não tenham sido significativas entre as plantas de origens diferentes, as plantas da população de Cubatão apresentaram uma tendência a uma maior produção de sementes que as plantas de Sta Genebra.

As estratégias de regeneração presentes nas ruderais geralmente contribuem para um tipo de vida "fugitiva", envolvendo a produção de grande quantidade de sementes pequenas, persistentes no banco de sementes, que germinam quando as condições se mostram favoráveis (Grime, 1979).

P. thyrsiflora parece apresentar estas características. Na área de estudo apareceu de forma efêmera. Após dois anos iniciado o estudo, se extinguiu no local, provavelmente resultado de um processo natural de sucessão, uma vez, que distúrbios por desmatamento, por exemplo, não ocorreram nesse período, nos locais em que se desenvolvia a população natural. Suas sementes são pequenas, e há indícios de que são dispersas por pássaros, o que indica a dispersão para novos sítios. As características da germinação (apresenta dormência) também sugerem que as plantas podem se incorporar ao banco de sementes, e reconstituir a população apenas nas condições mais adequadas.

Em comparação, E. mollis, é uma espécie perene, que ocorre em manchas localizadas. As plantas parecem permanecer verdes ao longo do ano todo, pois após as folhas secarem e completar a produção da maior parte das sementes, ocorre rebrota de novos ramos e folhas. Suas sementes germinam prontamente, portanto não parecem integrar o banco de sementes. Por outro lado, as plantas apresentam estruturas

para dispersão pelo vento (como pappus), sugerindo que podem explorar novas áreas. Sementes com estas características tem sido observadas em locais com distúrbio errático ou em larga escala (p. ex. áreas de mineração, construção de estradas) onde são adaptadas para explorar ambientes com distúrbio espacialmente imprevisível (Grime, 1979).

Assim, as duas espécies estudadas apresentam comportamentos diferentes quando sujeitas ao estresse nutricional, que devem se relacionar com suas histórias de vida. Por exemplo, os padrões de crescimento e de distribuição dos elementos químicos dentro das plantas, podem representar diferentes repertórios de respostas fenotípicas para as populações de E. mollis de origens diferentes. Já P. thyrsoiflora, uma espécie com existência "fugitiva", não apresenta nenhum indício de diferenciação desses padrões entre suas populações. Assim, parece que a diferenciação de populações em uma espécie, pode não depender apenas das diferenças ambientais, mas também da plasticidade e tolerância inerente da espécie.

Comparando as respostas de duas espécies de diferentes características ecológicas, Van Andel & Vera (1977), verificaram também, que as plantas da espécie anual Senecio sylvaticus, quando crescendo em solos com diferentes níveis de nutrientes, não apresentavam grande diferença de crescimento nos diferentes solos, porém no solo mais rico produziam sementes mais pesadas. Nas plantas da espécie perene Chamaenerion angustifolium, por outro lado, apenas uma pequena proporção de indivíduos floresceram nos solos inférteis, mas quando crescendo em solo mais fértil, aumentaram a produção de biomassa consideravelmente, e todos os indivíduos floresceram. Indicando que o estresse nutricional, afeta de forma diferente as

espécies de características ecológicas contrastantes.

Os autores, também verificaram que ambas espécies eram abundantes nos locais de trabalho no início do estudo, e a espécie anual S. sylvaticus, apesar de produzir uma grande quantidade de sementes durante o primeiro ano, praticamente desapareceu no segundo ano de estudo, das áreas abertas. Os autores sugerem que a baixa disponibilidade de nutrientes no solo pode ter influenciado neste resultado.

Por outro lado, os experimentos de plantio de indivíduos originários de Cubatão no solo de Sta Genebra, mostram que as duas espécies respondem prontamente a um solo mais favorável, aumentando seu crescimento e reprodução. Isto sugere que a melhor aptidão destes indivíduos não ocorre sob as condições ambientais de Cubatão, embora possam se desenvolver nessas condições, e sugere também a capacidade dessas espécies de se desenvolverem sob uma grande amplitude de condições.

Em especial, a população de E. mollis de Cubatão, para a qual foi sugerida uma redução adaptativa da taxa de crescimento, responde fortemente à mudança do solo, sugerindo que plasticidade de desenvolvimento é um mecanismo de adaptação importante para esta espécie.

Outros autores tem observado que a plasticidade pode ser um mecanismo fundamental na adaptação de plantas que são amplamente distribuídas. McGee et al (1981), por exemplo, investigaram o grau de expressão da diferenciação ecológica entre tres populações de habitats diferentes de Populus deltoides. Esta espécie é uma planta pioneira, de ampla distribuição. As populações testadas cresciam em

ambientes com condições edáficas bastante diferentes. Os autores encontraram que todas as características de crescimento eram fortemente influenciadas pelo solo, e apenas alguns parâmetros pela origem da população. Nos solos mais ricos, plantas de todas as populações apresentaram o maior crescimento e produção de biomassa. As diferenças apresentadas pelas plantas de origens diferentes pareciam ter valor adaptativo, mas os autores concluíram que embora, a espécie exiba diferenciação ecológica nos tres habitats contrastantes, a plasticidade de respostas a fatores do solo parecem prevalecer sobre as diferenças genéticas entre as populações, nos aspectos de crescimento.

Em outro estudo, Hickman (1975) estudando duas populações de habitats diferentes de Polygonum cascadense, uma espécie anual, verificou que, no campo, estas populações apresentavam diferenças de fenologia e padrão de crescimento. Embora na casa de vegetação algumas diferenças de tamanho tenham se mantido, as diferenças foram muito menores. O autor concluiu que as diferenças no campo são plásticas em origem, ou seja, as diferenças fenológicas no campo foram ambientalmente indicadas, embora houvessem diferenças genéticas entre as populações para algumas características.

Lovett Doust (1980a) estudando populações de Smyrnium olusatrum, uma espécie herbácea anual, de tres sítios contrastantes, verificou diferenças claras no padrão de alocação de biomassa entre as populações, e atribuiu estas diferenças à adaptação por plasticidade fenotípica.

Uma maior compreensão dos modos de adaptação das espécies estudadas, deve ser alcançada, porém, através da realização de

experimentos de transplante recíproco, ou do plantio de ambas populações em solos mais férteis (de Sta Genebra) na casa de vegetação. A realização de experimentos por períodos mais longos (uma vez que as plantas de E. mollis são perenes) também devem fornecer informações para a melhor interpretação dos resultados.

Finalmente, outros resultados indicam que as populações originárias de Sta Genebra, tanto de E. mollis como P. thyrsoiflora, apresentam maior variação fenotípica que as populações originárias de Cubatão.

A redução da expressão da variação fenotípica das populações de Cubatão, devem ser resultado das condições estressantes a que estão sujeitas. O estresse tem sido citado como um fator na redução da expressão fenotípica em plantas. Por exemplo, há indícios de que plantas características de habitats férteis apresentam maior plasticidade de desenvolvimento dentro do sistema radicular, do que plantas características de solos inférteis (Crick & Grime, 1987).

Segundo Grime (1979) as plantas de habitats improdutivos apresentam extensão relativamente pequena de respostas morfogenéticas, pois nestas condições as respostas mais importantes à variação ambiental são fisiológicas. Por outro lado, plantas de habitats mais produtivos apresentam respostas plásticas que ajustam rapidamente o crescimento à distúrbios temporários, e mantêm a captura de nutrientes e a aptidão reprodutiva.

LITERATURA CITADA

- Abbas, M.Z.M. 1989. Técnicas quimiométricas na avaliação da água da chuvas em Cubatão, SP. Dissertação de Mestrado, Piracicaba. ESALQ USP
- Abrahamson, W.G. & H. Caswell. 1982. On the comparative allocation of biomass, energy, and nutrients in plants. Ecology 63:982-991.
- Akker, A. & W. Groeneveld. 1982. On Cubatão: contents of chemical elements of soil, leaf and rainwater samples. Relatório do Instituto Agronômico de Campinas.
- Allen, S.E.; H.M. Grimshaw; J.A. Parkinson & C. Quarmby. 1974. Chemical Analysis of Ecological Materials. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 565 p.
- Allen, W.R. & P.M. Sheppard, 1971. Copper tolerance in some Californian populations of the monkey flower, Mimulus guttatus. Proc. Roy. Soc. Lond. (B), 177:177-196.
- Andrade, M.A.B. & A. Lamberti. 1965. A vegetação, In: A baixada santista. Aspectos geográficos, Vol. 1. (A. Azevedo coord.). São Paulo. EDUSP.
- Antonovics, J. 1976. The nature of limits to natural selection. Am. Missouri Bot. Gard. 63:224-247.
- Antonovics, J. 1984. Genetic variation within populations. In: Perspectives on plant population ecology (R. Dirzo & J. Sarukhám eds.), pp 229-241, Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- Antonovics, J.; A.D. Bradshaw & R.G. Turner. 1971. Heavy metal tolerance in plants. Adv. Ecol. Res., 7:1-85.
- Ayaszloo, M. & J.N.B. Bell. 1981. Studies on the tolerance to sulphur dioxide of grass populations in polluted areas. I. Identification of tolerant populations. New Phytol., 88:203-22.
- Bacchi, O.; H.F. Leitão Filho; C. Aranha. 1984. Plantas invasoras de culturas. Vol. III. Editora da Unicamp. Campinas, SP.
- Baker, A.J.M. 1978. Ecophysiological aspects of zinc tolerance in Silene maritima With. New Phytol., 80:635-642.
- Baker, C.K.; A.E. Fullwood & J.J. Colls. 1987. Tillering and leaf area of winter barley exposed to sulphur dioxide in the field. New Phytol., 107:373-385.
- Boldrini, C.V. & D.N. Pereira. 1987. Metais pesados na baía de Santos e estuários de Santos e São Vicente. Bioacumulação. Ambiente, 1:118-127.

- Bradshaw, A.D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. Advances in Genetics, 13:115-155.
- Bradshaw, A.D. 1971. Plant evolution in extreme environments. In: Creed, R. (ed.). Ecological Genetics and Evolution. pp. 20-50. Blackwell Scientific Publ.
- Bradshaw, A.D. & M.J. Chadwick. 1980. The restoration of land. The ecology and reclamation of derelict and degraded land. Studies in Ecology. Vol. 6. Berkeley and Los Angeles. Univ. of California Press. 317 p.
- Bradshaw, A.D. & T. McNeilly. 1981. Evolution and pollution. Studies in Biology no 130. Edward Arnold, London.
- Bragança, C.F.; E.C. Kono; L.S.J. Aguiar; R.P. Santos. 1987. Avaliação d degradação da Serra do Mar. Ambiente, 2:77-85.
- Briggs, D. & S.M. Walters 1984. Plant variation and evolution. 2nd ed Cambridge. Cambridge Univ. Press. 412 p.
- Brzezinska, A.; A. Balicki & J. VanLoon. 1984. Environmental and biological samples analysed by inductively coupled plasma emission spectrometry. Water, air, and soil pollution, 21:323-333.
- Castellani, T.T. 1986. Sucessão secundária inicial em mata tropical semi-decídua, após perturbação por fogo. Dissertação de Mestrado, Campinas, Instituto de Biologia, UNICAMP, 180p.
- CETESB. 1982. Relatório interno sobre efeito da poluição sobre a vegetação em Cubatão.
- CETESB. 1984. Caracterização química das águas de chuva de Cubatão. Impacto ambiental. Relatório chuvas de Cubatão. 22 p. São Paulo.
- CETESB. 1985a. Carta do meio ambiente e sua dinâmica. Baixada Santista. São Paulo. 33 p.
- CETESB. 1985b. Caracterização química das águas de chuva de Cubatão. Impacto ambiental. Relatório final. 64 p. São Paulo.
- Chabot, B.F. 1978. Environmental influences on photosynthesis and growth in Fragaria vesca. New phytol., 80:87-98.
- Chapin III, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. Ann. Rev. Ecol. Syst., 11:233-260.
- Chapin III, F.S. & M.C. Chapin. 1981. Ecotypic differentiation of growth processes in Carex aquatilis along latitudinal and local gradients. Ecology, 62:1000-1009.
- Clausen, J.; D. Keck; W.M. Hiesey. 1940. Experimental studies on the nature of species 1. Effect of varied environment on western North American plants, Carnegie Institute of Washington Publ. n. 520,

Washington, DC.

- Coughtrey, P. J. & H.M. Martin. 1977. Cadmium tolerance of Holcus lanatus from a site contaminated by aerial fallout. New Phytol., 79: 273-280.
- Coughtrey, P. J. & H.M. Martin. 1978. Tolerance of Holcus lanatus to lead, zinc and cadmium in factorial combination. New Phytol., 81: 147-154.
- Cox, R.M. & T.C. Hutchinson. 1980. Multiple metal tolerances in the grass Deschampsia cespitosa (L.) Beauv. from the Sudbury smelting area. New Phytol., 84:631-647.
- Crick, J.C. & J.P. Grime. 1987. Morphological plasticity and mineral nutrient capture in two herbaceous species of contrasted ecology. New Phytol., 107:403-414.
- Crittenden, P.D. & D.J. Read. 1979. The effects of air pollution on plant growth with special reference to sulphur dioxide. III. Growth studies with Lolium multiflorum, Lam., and Dactylis glomerata L. New Phytol., 83:645-651.
- Daubenmire, R.F. 1974. Plants and environment. A textbook of plant autoecology. New York. John Wiley & Sons. 422 p.
- Davies, M.S. 1975. Physiological differences among populations of Anthoxanthum odoratum L. collected from Park Grass experiment, Rothamsted. IV. Response to potassium and magnesium. J. Appl. Ecol., 12:953-964.
- Dorrington, V.H. & F.B. Pyatt. 1983. Some aspects of tissue accumulation and tolerance to available heavy metal ions by Rubus fruticosus L., a colonizer of spoil tips in S.W. England. Intern. J. Environmental Studies, 20:229-237.
- Foy, C.D. 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciência e Cultura, 28: 150-155.
- Foy, C.D., R.L. Chaney & M.C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Ann. Rev. Plant Physiol., 29:511-566.
- França, A. 1965. O uso da terra. Em: A baixada Santista: aspectos geográficos Vol. 2. (A. Azevedo, coord.) São Paulo, EDUSP. pp 195-214.
- Galvão Filho, J.B. 1987. Controle da poluição ambiental: Cubatão, filosofia e conceito. Ambiente, 2:70-73.
- Galvão Filho, J.B., A.A. Rodrigues, N. Shiraiva. 1985. Dois anos de controle da poluição ambiental em Cubatão. São Paulo, CETESB. (trabalho apresentado no Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13).

- GEPA (Grupo de Estudos da Poluição do Ar). 1982. Avaliação preliminar da qualidade do ar de Cubatão (Experiência SEMA/IFUSP).
- Gibson, D.J. & P.G. Risser. 1982. Evidence for the absence of ecotypic development in Andropogon virginicus (L.) on metalliferous mine wastes. New Phytol., 92:589-599.
- Godbold, D.L. & A. Huttermann. 1985. Effect of zinc, cadmium, and mercury on root elongation of Picea abies (Karst.) seedlings, and the significance of these metals to forest die-back. Environmental Pollution (Series A), 38:375-381.
- Goldenstein, L. 1965. Cubatão e sua área industrial. Em: A baixada santista. Aspectos geográficos. Vol IV. (A. Azevedo coord.). São Paulo. EDUSP. p 11-65.
- Grace, J.B. & R.G. Wetzel. 1981. Phenotypic and genotypic components on growth and reproduction in Typha latifolia. Experimental studies in marshes of differing successional maturity. Ecology, 62:789-801
- Grime, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley & Sons, Ltd. 222p
- Grime, J.P. 1988. The C-S-R model of primary plant strategies-origins, implications and testes. Em: Plant evolutionary biology. Gottlieb L.D. & S.K. Jain (eds.) Chapman and Hall Ltd. London. 371-393.
- Gutberlet, J. 1988. Uso de Sphagnum no monitoramento de poluição aérea de metais pesados. Resumos do XXXIX Cong. Nacional de Botânica. Belém - Pará.
- Hall, A. 1980. Heavy metal co-tolerance in a copper-tolerant population of the marine fouling alga, Ectocarpus siliculosus (Dillw.) Lungbye. New Phytol., 85:73-78.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. Academic Press. London
- Heslop-Harrison, J. 1964. Forty years of genecology. Adv. Ecol. Res. 2:159-247.
- Hickman, J.C. 1975. Environmental unpredictability and plastic energy allocation strategies in the annual Polygonum cascadense (Polygonaceae). Journal of ecology, 63:689-701.
- Hogan, C.D. & W.E. Rauser. 1979. Tolerance and toxicity of cobalt, copper, nickel and zinc in clones of Agrotis gigantea. New Phytol. 83:665-670.
- Hurka, H. 1984. Influence of population parameters on the genetic structure of Capsella populations. In: K. Wöhrmann & V. Loeschcke (eds.). Population Biology and Evolution. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg.

- Jain, S.K. 1979. Adaptive strategies: polymorphism, plasticity and homeostasis. In: Topics in plant population biology (O. Solbrig, S.K. Jain et al., eds.), pp 160-187. New York. Academic Press.
- Jefferies, R.L. 1984. The phenotype: its development, physiological constraints, and environmental signals. In: Perspectives in Plant Population Ecology (R. Dirzo & J. Sarukán, eds.), pp 347-358, Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- Kabata-Pendias, A. & H. Pendias. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc.
- Karataglis, S.S. 1982. Combined tolerance of copper, zinc and lead by populations of Agrostis tenuis. Oikos, 38:234-241.
- Kerr, A.A.F.S. 1983. Caracterização física do aerossol atmosférico de Cubatão e uma experiência de aplicação do modelo de dispersão por pluma gaussiana. Dissertação de Mestrado, São Paulo, Instituto de Física, USP, 104p.
- Kucinski, B. 1982. Cubatão: uma tragédia ecológica. Ciência Hoje, 1: 10-24.
- Kruckberg, A.R. 1951. Intraspecific variability in the response of certain native plant species to serpentine soil. Am. J. Bot., 38: 408-419.
- Larsen, E.C. 1947. Photoperiodic responses of geographical strains of Andropogon scoparius. Bot. Gaz., 109:132-150.
- Leitão Filho, H.F.; C.Aranha; O.Bacchi. 1975. Plantas invasoras de culturas no Estado de São Paulo. Vol. II. HUCITEC Ltda, São Paulo.
- Levins, R. 1968. Evolution in changing environments. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Loeschcke, V. & K. Wöhrmann. 1984. Introduction: genotype and phenotype. Basic concepts in population biology. In: (W. Wöhrmann V. Loeschcke, eds.) Population biology and evolution. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg.
- Lovett Doust, J. 1980a. A comparative study of life history and resource allocation in selected Umbelliferae. Biological journal of the Linnean Society, 13:139-154.
- Lovett Doust, J. 1980b. Experimental manipulation of patterns of resource allocation in the growth cycle and reproduction of Smyrniolum olusatrum L. Biological journal of the Linnean Society, 13:155-166.
- MacNair, M.R. & Q. Cumbes. 1987. Evidence that arsenic tolerance in Holcus lanatus L. is caused by an altered phosphate uptake system. New Phytol., 107:387-394.

- Malavolta, E. 1976. Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 528 pp.
- McGee, A.B.; M.R. Schmierbach & F.A. Bazzaz. 1981. Photosynthesis and growth in populations of Populus deltoides from contrasting habitats. Am. Midl. Nat., 105:305-311.
- McNaughton, S.J.; T.C. Folsom; T. Lee; F. Park; C. Price; D. Roeder; J. Schmitz e C. Stochwell. 1974. Heavy metal tolerance in Typha latifolia without the evolution of tolerant races. Ecology, 55: 1163-1165.
- Miller, E.; J.A. Cooper; C.A. Frazier; Z.C. Pritchett. 1985. Cubatão aerosol source apportionment study. Vol I. Final reports, by NEA, INC.
- Ministerio da Agricultura. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo: comissão de solos. Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas nº 12.
- Monteleone Neto, R. 1982. Em Cubatão, uma nova chave para o entendimento de anomalias. Ciência Hoje, 1:12.
- Mooney, H.A. & S.L. Gulmon. 1979. Environmental and evolutionary constraints on the photosynthetic characteristics of higher plants. In: Topics in plant population biology (O. Solbrig, S.K. Jain et al. eds.) pp 316-337. Columbia University Press, New York.
- Moreira-Nordemann, L.M.; J.L.R. Bertoli; R.C. de A. Cunha; C.R. Palombo. 1983. Análise química preliminar das águas de chuva de Cubatão - impactos ambientais. Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 5. Brasília, vol3. p 339-349.
- Naoum, P.C. 1982. A cidade do sangue intoxicado. Ciência Hoje, 1:19.
- Oliveira, U. & C.A. Joly. 1984. O desenvolvimento de ecótipos de Bidens pilosa (L.) como consequência do acúmulo de cobre e zinco no solo. Cadernos da SBPC, São Paulo.
- Petrone, P. 1965. Povoamento e caminhos nos séculos XVI e XVII. Em: A baixada santista: aspectos geográficos. Vol. II. (A. Azevedo coord.). São Paulo, EDUSP. p 11-73.
- Pitelka, L.F. 1988. Evolutionary responses of plants to anthropogenic pollutants. Trends Ecol. Evol., 3:233-236.
- Pollard, A.J. 1980. Diversity of metal tolerance in Plantago lanceolata L. from the southeastern United States. New Phytol., 86: 109-117.
- Potvin, C. 1986. Biomass allocation and phenological differences among southern and northern populations of C₄ grass Echinochloa crus-galli. J. Ecol., 74:915-923.

- Queiroz Neto, J.P. & A. Kuipper. 1965. Os solos. Em: A baixada santista, aspectos geográficos, Vol. 1. (A. Azevedo coord.). São Paulo, EDUSP.
- Queiroz Neto, J.P.; R. Monteleone Neto & R.A. Marques. 1984. Cubatão, 1984. Não deixe que joguem aqui uma pá de cal. Ciência Hoje, 3: 80-86.
- Reinert, R.A. 1984. Plant response to air pollutant mixtures. Ann. Rev. Phytopathol., 22:421-442.
- Rodriguez, J.C. 1965. As bases geológicas, em A baixada santista, aspectos geográficos, Vol. 1. (A. Azevedo coord.). São Paulo, EDUSP.
- Rossin, A.C.; P.T.Zanati; S.R.Camargo. 1983. Qualidade do ar em Cubatão. Necessidade de padrões específicos para a área. São Paulo CETESB. (trabalho apresentado no Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12, Camboriú).
- Salvador Filho, P.; R.Nieto; C.Bernardes Júnior. 1981. Avaliação das emissões de poluentes atmosféricos de origem industrial na região de Cubatão : subsídios para uma política de ação. São Paulo, CETESB. (trabalho apresentado no Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, 11, Fortaleza).
- Sarukhán, J.; M. Martínez-Ramos & D. Piñero. 1984. The analysis of demographic variability at the individual level and its population consequences, em Perspectives in plant population ecology. (R. Dirzo & J. Sarukhán eds.) pp. 83-106. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- SAS Institute, Inc. 1985. SAS-Users guide: Statistics. SAS Inst., Inc
- Schaal, B.A. & W.J. Leverich. 1984. Age-specific fitness components in plants: Genotype and phenotype, em K. Woehrmann & V. Loeschcke (eds) Population biology and evolution. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Schlichting, C.D. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. Ann. Rev. Ecol. Syst., 17:667-693.
- Shaw, J.; J. Antonovics & L.E. Anderson. 1987. Inter- and intraespecific variation of mosses in tolerance to copper and zinc. Evolution, 41:1312-1325.
- Silva Filho, N.L. 1988. Recomposição da cobertura vegetal de um trecho degradado da Serra do Mar, Cubatão, SP. Fundação Cargill Campinas, SP. 52p.
- Silvertown, J.W. 1982. Introduction to plant population ecology. New York: Longman. 209p.
- Simon, E. 1977. Cadmium tolerance in populations of Agrostis tenuis and Festuca ovina. Nature, 265:328-330.

- Simon, E. 1978. Heavy metals in soils, vegetation development and heavy metal tolerance in plant populations from metalliferous areas. New Phytol., 81:175-188.
- Smith, R.A.H. & A.D. Bradshaw. 1979. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. J. appl. ecol., 16:595-612.
- Somashekar, R.K.; S.N. Ramaswamy & Govindappa D. Arekal. 1982. Studies on the trace metal accumulation in grasses and sedges. Intern. J. Environm. Stud., 19:69-70.
- Stearns, S.C. 1984. How much of the phenotype is necessary to understand evolution at the level of the gene?, em K. Woehrmann & U. Loeschcke (eds.) Population biology and evolution. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg.
- Sultan, S.E. 1987. Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants. Evol. Biol., 21:127-178.
- Turkington, R. & L.W. Aarssen. 1984. Local-scale differentiation as a result of competitive interactions, em Perspectives in plant population ecology. (R. Dirzo & J. Sarukhán eds.) pp. 107-127. Sinauer. Sunderland. Massachusetts.
- Van Andel, J. & F. Vera. 1977. Reproductive allocation in Senecio sylvaticus and Chamaenerion angustifolium in relation to mineral nutrition. J. ecol., 65:747-758.
- Venable, D.L. 1984. Using intraspecific variation to study the ecological significance and evolution of plant life-histories, em Perspectives in plant population ecology. (R. Dirzo & J. Sarukhán eds.) pp. 166-187. Sinauer. Sunderland. Massachusetts.
- Via, S. & R. Lande. 1985. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. Evolution, 39:505-522.
- Walsh, G.E.; K.A. Ainsworth & R. Rigby. 1979. Resistance of red mangrove (Rhizophora mangle L.) seedlings to lead, cadmium, and mercury. Biotropica, 11:22-27.
- Warwick, S.I. & D. Briggs. 1980a. The genecology of lawn weeds. IV. Adaptive significance of variation in Bellis perennis L. as revealed in a transplant experiment. New Phytol., 85:275-288.
- Warwick, S.I. & D. Briggs. 1980b. The genecology of lawn weeds. V. The adaptive significance of different growth habit in lawn and roadside populations of Plantago major L. New Phytol., 85:289-300.
- Wu, L. & J. Antonovics. 1976. Experimental ecological genetics in Plantago. II. Lead tolerance in Plantago lanceolata and Cynodon dactylon from a roadside. Ecology, 57:205-208.

Zagatto, E.A.G.; A.O. Jacintho; B.F. Reis; J.F. Krug; H. Bergamin, Filho; L.C.R. Pessenda; J. Moratti & M.F. Giné. 1981. Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção de fluxo - CENA.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. 2nd ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 718p.

Zwozdziak, J.W. & A.B. Zowzdziak. 1982. Trace-metal behaviour in the vicinity of a copper smelter. Intern. J. Environm. Stud., 19:35-41

A N E X O

Tabela 19 - Faixas de concentração esperadas para elementos extraí-
veis de solo mineral. (Retirado de Allen, 1974).

ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO
K	10 a 30 mg/100g
Ca	10 a 200 mg/100g
Mg	5 a 30 mg/100g
Na	2 a 20 mg/100g
C	0,2 a 10%
Al	10 a 200 mg/100g
Cu	0,1 a 3 ppm
Fe	50 a 1000 ppm
Zn	1 a 40 ppm
Mn	5 a 500 ppm

Tabela 20 - Faixas de concentrações normalmente esperadas para elementos em plantas (Retirado de Allen, 1974)

ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO
P	0,05 a 0,3 %
K	0,5 a 3,0 %
Ca	0,3 a 2,5 %
Mg	0,1 a 0,5 %
S	0,08 a 0,5 %
Na	0,02 a 0,3 %
Fe	40 a 500 ppm
Cu	2,5 a 25 ppm
Mn	50 a 1000 ppm
Zn	15 a 100 ppm
Al	100 a 1000 ppm