

LUÍS HENRIQUE MANTOVANI DE FARIAS

**EFEITOS DO SOLO CONTAMINADO POR PETRÓLEO NAS FOLHAS E
RAÍZES DE *Rhynchospora corymbosa* (L.) BRITT. (CYPERACEAE)**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Botânica do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná

Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Cleusa Bona

Co-Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Torres Boeger

CURITIBA

2005

À minha família pelo apoio, confiança e dedicação que mesmo à distância foram essenciais para a superação de todas as dificuldades e realização de mais um sonho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Prof^ª. Dr^ª. Cleusa Bona pela orientação e amizade fundamentais para a realização deste trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Torres Boeger pela co-orientação e por estar sempre disponível para sanar minhas dúvidas.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo durante os dois anos do curso.

Ao Prof. Msc. Gedir de Oliveira Santos por sanar minhas dúvidas a respeito das análises de solo.

Ao Prof. Olavo A. Guimarães pela determinação do material botânico.

Ao Prof. Dr. Adauto B. Pereira-Neto e à Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Torres Boeger pelo auxílio na confecção do abstract.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na pessoa da Prof^ª. Dr^ª. Edna Scremin-Dias pela utilização do Sistema de Captura de Imagens Digitais.

Ao Centro de Microscopia eletrônica da UFPR, em especial à Regina, Matilde, Sérgio e ao Professor Nei pela atenção e presteza no preparo do material e nas longas horas de análise e registro.

Aos amigos e colegas de curso Cristiane Piccinini, Renata, Cristine, Mariza, Fernanda, Priscila, Liege, Juliane, Juliano Sonehara, Juliano Cordeiro, Volpi, Igor, Rogério, Silvana, Giovana, Ana Cristina Alves, Ana Cristina Toledo, Luiz Mafra, Daniel, Deisiane, Dieter, Gisele, Juliany, Michella, Pedro e Tiago por ajudarem sempre que solicitados e por dividirem os momentos de alegria e de descanso nos intervalos para os “cafezinhos”.

Aos Amigos Hélder Nagai Consolaro, Nelson Gaspar Dip Júnior, Rafael Soares de Arruda e Rodrigo Gomes do Santos por sempre estarem presentes (mesmo que somente por telefone) e pelas suas palavras de incentivo ou apenas ouvindo minhas inquietações e anseios.

Ao Volpi e Igor por dividirem não só o dia-a-dia de trabalho, mas também as contas da casa e por se tornarem a minha família nesta cidade.

Ao Dr. Josué Raizer pelo auxílio com as análises estatísticas.

Ao José Carlos pela amizade e por sempre estar disposto a resolver os pequenos probleminhas do cotidiano.

A minha família pelo apoio incondicional.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste e que não tiveram os nomes aqui citados meu muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Poluição por petróleo e derivados	3
2.2 Família Cyperaceae/ <i>Rhynchospora corymbosa</i>	9
2.3 Anatomia de Cyperaceae	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Área de Estudo	20
3.2 Análise Química do Solo	20
3.3 Coleta e Análise Morfo-anatômica	21
3.4 Análise de Clorofila.....	24
3.5 Análises Químicas das Folhas.....	25
3.6 Análise Estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 Análise Química do Solo	26
4.2 Análise Morfológica Foliar.....	27
4.3 Análise de clorofila.....	32
4.4 Conteúdo de Macro e Micro Elementos Foliare.....	34
4.5 Descrição Morfo-Anatômica da Folha	36
4.5.1 Epiderme	36
4.5.2 Mesofilo	40
4.5.3 Sistema Vascular	44
4.6 Descrição Morfo-Anatômica da Raiz.....	54
5. CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Análise de rotina do solo das parcelas com solo contaminado e não contaminado por petróleo, onde foram coletados os indivíduos de *Rhynchospora corymbosa*, na REPAR, Araucária – PR.....26
- Tabela 2:** Análise química dos micronutrientes do solo das parcelas contaminada e não contaminada onde foram coletados os indivíduos de *Rhynchospora corymbosa*, na REPAR, Araucária – PR.....27
- Tabela 3:** Média (\pm desvio padrão) das variáveis morfológicas das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=10; GL=9). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).....28
- Tabela 4:** Média (\pm desvio padrão) dos teores de clorofila das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=10; GL=9). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).....32
- Tabela 5:** Média (\pm desvio padrão) dos teores de nutrientes foliares de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=5; GL=4). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).....35
- Tabela 6:** Média (\pm desvio padrão) das variáveis morfológicas das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=10; GL=9). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).....38
- Tabela 7:** Média (\pm desvio padrão) das variáveis morfológicas das raízes de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado e não contaminado por petróleo, coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=2; GL=1). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).....55

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Fotografia aérea, com os pontos onde foram coletados os indivíduos de *Rhynchospora corymbosa*, na área da REPAR no Município de Araucária, Paraná – Brasil.....23
- Figura 2:** Indivíduo de *Rhynchospora corymbosa* crescendo na área da REPAR/Petrobrás, em Araucária-PR.....24
- Figura 3:** Visão geral da face adaxial da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 100µm).....47
- Figura 4:** Detalhe da face adaxial da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo evidenciando as sinuosidades nas paredes (setas pretas; barra = 100µm).....47
- Figura 5:** Visão geral da face abaxial da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 100µm). (rc) região costal; (ri) região intercostal.....47
- Figura 6:** Detalhe das células epidérmicas da face abaxial e estômatos da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (setas pretas; barra = 100µm).....47
- Figura 7:** Detalhe dos estômatos da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (setas pretas; barra = 50µm).....47
- Figura 8:** Detalhe das células com corpos silicosos (setas pretas) com paredes sinuosas da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 50µm).....47
- Figura 9:** Eletromicrografia (MEV) do bordo foliar de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo evidenciando os tricomas espinhosos (te; barra = 100µm).....47
- Figura 10:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. Detalhe do parênquima paliçádico (pp; barra = 100µm). (cb) células buliformes; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (*) esclereíde.....48
- Figura 11:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. Detalhe do parênquima lacunoso (pl; barra = 100µm).....48
- Figura 12:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. Detalhe da epiderme da face abaxial evidenciando os processos silicosos (seta preta; barra = 50µm).....48
- Figura 13:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. Detalhe do bordo (barra = 100µm). (fi) fibras; (fl) floema; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (mx) metaxilema.....48

- Figura 14:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. Detalhe do mesofilo evidenciando um feixe vascular de grande porte com extensão de bainha esclerenquimática (barra = 100µm). (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (en) endoderme; (fl) floema; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (lp) lacuna de protoxilema; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (pp) parênquima paliçádico.....48
- Figura 15:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. Detalhe do mesofilo evidenciando um feixe vascular de pequeno porte com extensão de bainha parenquimática (barra = 100µm). (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (en) endoderme; (fl) floema; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (pp) parênquima paliçádico.....48
- Figura 16:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe do parênquima paliçádico e epiderme da face adaxial (pp; barra = 100µm). (cb) células buliformes; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (*) esclereíde.....49
- Figura 17:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe do parênquima lacunoso e epiderme da face abaxial (pl; barra = 100µm). (eb) extensão de bainha.....49
- Figura 18:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe do bordo (barra = 100µm). (fi) fibras; (fl) floema; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (mx) metaxilema.....49
- Figura 19:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe das células epidérmicas e do mesofilo evidenciando um feixe vascular de grande porte com extensão de bainha esclerenquimática (barra = 100µm). (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (en) endoderme; (fl) floema; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (lp) lacuna de protoxilema; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (pp) parênquima paliçádico.....49
- Figura 20:** Secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe das células epidérmicas e do mesofilo evidenciando um feixe vascular de pequeno porte com extensão de bainha parenquimática (barra = 100µm). (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (en) endoderme; (fl) floema; (id) idioblasto com compostos fenólicos; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (pp) parênquima paliçádico.....49
- Figura 21:** Teste microquímico com Sudan III evidenciando idioblastos com compostos lipídicos (*) na folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 50µm).....50
- Figura 22:** Teste microquímico com Sudan III evidenciando idioblastos com compostos lipídicos (*) na folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 50µm).....50
- Figura 23:** Detalhe de uma extensão de bainha parenquimática da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo, com grãos de amido (setas), teste realizado com lugol (barra = 50µm).....50

- Figura 24:** Detalhe do mesofilo da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo evidenciando a distribuição dos idioblastos com compostos fenólicos (*), teste realizado com cloreto férrico (barra = 100µm).....50
- Figura 25:** Visão geral da quilha da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo (barra = 200µm). (ar) aerênquima; (cb) células buliformes; (fi) fibras; (pf) parênquima fundamental.....51
- Figura 26:** Visão geral da quilha da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 200µm). (ar) aerênquima; (cb) células buliformes; (fi) fibras; (pf) parênquima fundamental.....51
- Figura 27:** Visão geral da lâmina foliar de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo (barra = 100µm). (ar) aerênquima; (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso.....51
- Figura 28:** Visão geral da lâmina foliar de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 100µm). (ar) aerênquima; (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso.....51
- Figura 29:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo (barra = 50µm). (setas brancas) esclereídes; (cb) células buliformes; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso.....52
- Figura 30:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo (barra = 50µm). (cabeça de seta branca) célula braciforme; (setas brancas) esclereídes.....52
- Figura 31:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo (barra = 10µm). (di) diafragma.....52
- Figura 32:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 100µm). (setas brancas) esclereídes; (ar) aerênquima; (cb) células buliformes.....52
- Figura 33:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 50µm). (di) diafragma; (cabeça de seta branca) célula braciforme; (setas brancas) esclereídes; (eb) extensão de bainha.....52
- Figura 34:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 20µm). (cabeça de seta branca) célula braciforme; (setas brancas) esclereídes; (eb) extensão de bainha.....52
- Figura 35:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe de uma esclereide (seta branca; barra = 10µm). (di) diafragma.....53
- Figura 36:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. Detalhe de uma esclereide (seta branca; barra = 2µm).....53

Figura 37: Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo. Detalhe de uma esclereide com ornamentações de parede (seta preta; barra = 0,5µm).....	53
Figura 38: Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da folha de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo. Detalhe das células braciformes (cb; barra = 10µm).....	53
Figura 39: Visão geral da secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo não contaminado por petróleo (barra = 200µm). (ar) aerênquima; (ci) córtex interno.....	59
Figura 40: Visão geral da secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo (barra = 200µm). (ar) aerênquima; (ci) córtex interno.....	59
Figura 41: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo. Detalhe da epiderme (ep) e córtex externo (ce; barra = 50µm). (ar) aerênquima; (ex) exoderme.....	59
Figura 42: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo não contaminado por petróleo. Detalhe da epiderme (ep) e córtex externo (ce; barra = 50µm). (ar) aerênquima; (ex) exoderme.....	59
Figura 43: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo não contaminado por petróleo. Visão geral do cilindro vascular (barra = 100µm). (mx) metaxilema.....	59
Figura 44: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo. Visão geral do cilindro vascular (barra = 100µm). (mx) metaxilema.....	59
Figura 45: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo não contaminado por petróleo. Detalhe do cilindro vascular (barra = 100µm). (en) endoderme; (fl) floema; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (px) protoxilema.....	59
Figura 46: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo. Detalhe do cilindro vascular (barra = 100µm). (en) endoderme; (fl) floema; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (px) protoxilema.....	59
Figura 47: Secção transversal da raiz de <i>Rhynchospora corymbosa</i> em solo contaminado por petróleo evidenciando epiderme e córtex externo. Teste microquímico com lugol (barra = 100µm). (ep) epiderme; (ex) exoderme; (setas pretas) grãos de amido.....	60

- Figura 48:** Secção transversal da raiz de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo evidenciando epiderme e córtex interno. Teste microquímico com lugol (barra = 100µm). (en) endoderme; (setas pretas) grãos de amido.....60
- Figura 49:** Secção transversal da raiz de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo evidenciando epiderme e córtex interno. Teste microquímico com lugol (barra = 100µm). (en) endoderme; (setas pretas) grãos de amido.....60
- Figura 50:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da raiz de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo (barra = 10µm). (en) endoderme; (setas brancas) grãos de amido.....60
- Figura 51:** Eletromicrografia (MEV) de secção transversal da raiz de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo (barra = 5µm). (en) endoderme; (setas brancas) grãos de amido.....60

RESUMO

Efeitos do solo contaminado por petróleo nas folhas e raízes de *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britt. (Cyperaceae)

A extração de petróleo tem aumentado muito nos últimos anos para suprir a crescente exigência energética mundial. O aumento desta extração tem potencializado os riscos do petróleo ser acidentalmente descarregado no ambiente. Em julho de 2000, ocorreu um vazamento de petróleo no oleoduto que liga o terminal de São Francisco do Sul – SC à Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR) localizada em Araucária – PR. Neste acidente, vazaram aproximadamente 4 milhões de litros de petróleo, causando um grande impacto negativo sobre os componentes bióticos da área e deixando o solo contaminado. Os objetivos deste trabalho foram verificar se existem diferenças entre indivíduos de *R. corymbosa* crescendo em solo contaminado por petróleo e controle, através de análises das características morfológicas, anatômicas, dos teores de clorofila e dos macros e micronutrientes nas folhas, bem como das características anatômicas nas raízes 2 anos e oito meses após o incidente na REPAR. No presente trabalho foram analisados folhas e segmentos de raízes de dez indivíduos de *R. corymbosa* crescendo em solo contaminado e não contaminado com petróleo. Nas folhas foram realizadas mensurações do comprimento, largura, peso seco, área, área específica, espessura do limbo e dos tecidos que compõem a lâmina foliar, teor de clorofilas a, b, total e razão entre a e b e concentração de nutrientes (N, P, Ca, K, Mg). Nas raízes foram realizadas mensurações do diâmetro total, do cilindro vascular e raio do córtex da raiz. O material foi processado de acordo com as técnicas usuais em anatomia vegetal para inclusão em historresina. O comprimento, largura, peso seco e área das folhas de *R. corymbosa* foram significativamente maiores nas plantas em solo não contaminado por petróleo do que nas plantas em solo contaminado. Não foram observadas diferenças significativas para área específica foliar, espessura da epiderme tanto da face adaxial quanto da abaxial, do parênquima paliçádico, parênquima lacunoso, diâmetro da lacuna aerífera, teores de clorofila a, b, total, razão entre clorofila a e b e diâmetro radicial. Não houve sinais de danos nem tampouco diferenças na disposição e formato das células nas folhas e raízes das plantas em solo contaminado por petróleo. O solo contaminado por petróleo apresentou menores níveis de matéria orgânica, pH, capacidade de trocas catiônicas, capacidade de saturação de bases, fósforo disponível e de potássio, cálcio e magnésio trocáveis que o solo não contaminado. Não foram registradas diferenças significativas nos teores de nitrogênio, magnésio, fósforo e cálcio foliares, com exceção do potássio, que foi 42,04% menor nas plantas em solo contaminado. As alterações registradas no presente trabalho são entendidas como respostas dos indivíduos de *R. corymbosa* ao solo contaminado por petróleo, já que o mesmo pode ter propiciado uma diminuição na disponibilidade de água por se aderir às raízes. Em decorrência do exposto, *R. corymbosa* se mostrou apta a recuperar áreas atingidas por derramamentos de petróleo.

Palavras-chave: Anatomia, morfologia, *Rhynchospora corymbosa*, petróleo, poluição

ABSTRACT

Effects of soil contaminated with petroleum on leaves and roots of *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britt. (Cyperaceae)

The extraction of petroleum had increased in the last years for supply the world's energetic demand. This increase had potential risks of petroleum to be discharged accidentally in environment are high. On July 2000, a petroleum leak occurred on the pipeline that drives petroleum from the São Francisco do Sul – SC terminal to the refinery Presidente Getúlio Vargas (REPAR) located in Araucária – PR. In the accident, approximately 4 million liters of petroleum leaked, causing a broad negative impact on the biotic components in the area, leaving the soil polluted, as well. The aim of this work was to verify the differences between individuals of *R. corymbosa* growing in soil polluted or not by petroleum through analysis of morphological, anatomical, chlorophyll content, and the concentration of nutrients characteristics, as well as of anatomical traits of the roots 32 months after the spill. For that, leaves and root segments of ten individuals of *R. corymbosa* grown on polluted and non polluted soil with petroleum were analyzed. For the leaves, length, width, dry weight, area, specific area, thickness of the whole limbo and of tissues comprising the leaf, total chlorophyll *a* and *b* content, chlorophyll *a/b* ratio and concentration of nutrients (N, P, Ca, K, Mg) were measured. For the roots, total diameter, diameter of the vascular cylinder and diameter of the cortex ray measurements were carried out. Leaves and roots were processed for inclusion in historesin according to usual plant anatomy techniques. The length, width, dry weight and area of *R. corymbosa* leaves were significantly larger for plants grown in unpolluted soil compared to plants grown in polluted soil. No significant differences were observed for specific leaf area, thickness of both adaxial and abaxial epidermis, palisade and spongy parenchyma, diameter of air cavities, total chlorophyll *a* and *b* content, chlorophyll *a/b* ratio and root diameter. There were no signs of damage or either, differences in arrangement and format of cells in leaves or roots of plants in polluted soil. Polluted soil presented smaller levels of organic matter, pH, cationic capacity exchange, anion saturation capacity, phosphorus availability and exchangeable potassium, calcium and magnesium compared to unpolluted soil. No significant differences were found for leaf content of nitrogen, magnesium, phosphorus and calcium. However, potassium content was 42.04% smaller in plants grown in polluted soil. The changes observed in this study were understood as responses of *R. corymbosa* to the polluted soil for petroleum, since petroleum might have caused a reduction on water availability after adhering to the roots. Our data indicate that *R. corymbosa* is able to recover areas reached by petroleum spills.

Key-words: Anatomy, morphology, *Rhynchospora corymbosa*, petroleum, pollution

1. INTRODUÇÃO

Mais de 65 milhões de barris de petróleo são extraídos por dia, para suprir as exigências energéticas mundiais (NICOLOTTI; EGLI, 1998). Ao mesmo tempo, porém, a extração, transporte e refinamento de petróleo são potencialmente perigosos e podem causar danos severos e duradouros se o petróleo for derramado acidentalmente no ambiente (SMITH; DELAUNE; PATRICK-JR., 1981; LIN; MENDELSSOHN, 1998; NICOLOTTI; EGLI, 1998). Tais acidentes acontecem apesar do monitoramento da rede de distribuição e de armazenamento de petróleo (LIN; MENDELSSOHN, 1998; NICOLOTTI; EGLI, 1998).

Em julho de 2000 ocorreu um vazamento de petróleo no oleoduto que liga o terminal de São Francisco do Sul – SC à Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR) localizada em Araucária – PR. Neste acidente vazaram aproximadamente 4 milhões de litros de petróleo, causando um grande impacto negativo sobre os componentes bióticos da área e deixando o solo contaminado.

Após o impacto inicial do acidente, que causou a morte de toda a vegetação, várias espécies foram gradativamente se estabelecendo nessa área. *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britt. foi a espécie que melhor se desenvolveu na área com o solo contaminado.

As plantas, geralmente, são os primeiros organismos a serem afetados por desastres desse tipo. Entretanto, elas podem ser sensíveis à poluição ou tolerantes (MALALLAH et al., 1996). Segundo BAKER (1970), os efeitos da poluição nas plantas podem variar de acordo com o tipo e a quantidade de óleo envolvido, a época do ano, a idade e as espécies de plantas atingidas.

As espécies tolerantes podem exibir ou não alterações morfo-anatômicas. Porém, poucos estudos têm enfatizado as mudanças anatômicas e morfológicas que ocorrem nas plantas. Segundo WOOLHOUSE (1983), há uma considerável variação genética, quanto à habilidade das espécies em tolerar elementos tóxicos não essenciais.

Vários estudos enfatizam o impacto observado em plantas que se desenvolvem em locais com algum nível de distúrbio antrópico, dentre eles: os que analisam os

organismos como bioindicadores de poluição ambiental (DION et al., 1993; KLUMPP; KLUMPP; DOMINGOS, 1994; SIMON; MARTIN; ADRIANO, 1996; BRIGHIGNA et al., 1997); as injúrias provocadas no desenvolvimento de plantas de mangue (PROFFITT; DEVLIN; LINDSEY, 1995; SUPRAYOGI; MURRAY, 1999; KE et al., 2002); mudanças bioquímicas que ocorrem nas plantas (HUSSEIN; TERRY, 2002); o efeito dos poluentes aéreos (BOUMA et al., 1997; CHEN; IMPENS; CEULEMANS, 1997; CHRONOPOULOS et al., 1997; KELLOMÄKI; WANG, 1997; MCKEE; BULLIMORE; LONG, 1997; OLAJIRE; AYODELE, 1997; REICHENAUER et al., 1997; SCHENK; JÄGER; WEIGEL, 1997; BERNTSON; RJAKARUNA; BAZZAZ, 1998; MULHOLLAND et al., 1998a; MULHOLLAND et al., 1998b; ROBERTS et al., 1998; WARWICK; TAYLOR; BLUM, 1998; BÄCK; VANDERKLEIN; TOPA, 1999; TATE; ROSS, 1999; BECKETT; FREER-SMITH; TAYLOR, 2000; FRANZARING et al., 2000; SODA et al., 2000; ALVES et al., 2001; ZHENG; LYONS; BARNES, 2000; BÜNDCHEN, 2001; DOMINGOS et al., 2003); o impacto gerado nas plantas próximas a indústrias (BECH et al., 1997; KLUMPP et al., 2000; BUJOKAS, 2001); os efeitos dos metais pesados nas plantas (GÖRANSSON, 1998; ASHLEY; LOTTERMOSER, 1999; SZYMANOWSKA; SAMECKA-CYMERMAN; KEMPERS, 1999; MENGONI et al., 2000; SAMECKA-CYMERMAN; KEMPERS, 2001; VALKAMA; KOZLOV, 2001; CARDWELL; HAWKER; GREENWAY, 2002; MACNAIR, 2002; STOLTZ; GREGER, 2002) e plantas submetidas ao esgoto (MARTINS, 2002).

O fato de *Rhynchospora corymbosa* ser uma espécie abundante e de crescimento vigoroso na região da REPAR em Araucária - PR, justifica um estudo mais aprofundado. O presente trabalho faz parte de um projeto maior no qual foram avaliadas as respostas morfofisiológicas de 6 espécies arbóreas frente a contaminação do solo com petróleo (BONA; SANTOS 2003). Dessa forma, esse trabalho poderá ainda servir como referência, pois existe carência de trabalhos relacionando o impacto de petróleo sobre as alterações morfo-anatômicas que ocorrem em espécies herbáceas. Os objetivos deste trabalho foram verificar se existem diferenças entre indivíduos de *R. corymbosa* crescendo em solo contaminado por petróleo e controle, através de

análises das características morfológicas, anatômicas, dos teores de clorofila e dos macros e micronutrientes nas folhas, bem como das características anatômicas nas raízes 2 anos e oito meses após o incidente na REPAR.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Poluição por petróleo e derivados

Com o aumento do distúrbio e destruição dos habitats, causados pela ocupação humana, é cada vez maior a quantidade de substâncias presentes no ambiente em concentrações capazes de causar danos às plantas. Essas substâncias são produzidas e liberadas para o ambiente pelos processos industriais, tráfego de veículos, uso de agentes químicos domésticos e na agricultura e, especialmente, por meio do consumo excessivo de combustíveis fósseis. O crescimento sem precedentes da atividade antrópica apresenta conseqüências degenerativas muito mais extensas do que as detectadas no local onde acontecem, podendo atingir uma escala regional ou global e causando danos em áreas distantes de onde foram produzidos (LARCHER, 2000).

A extensão em que as funções vitais são afetadas pelos poluentes e se há danos visíveis, depende de muitos fatores, tanto bióticos como abióticos. Os fatores mais importantes a serem considerados são as espécies envolvidas, a forma de crescimento, a idade, a fase da atividade da planta, o vigor geral do vegetal, as condições climáticas e edáficas, as propriedades químicas, a concentração, o momento e a duração da exposição ao poluente (BAKER, 1970; LARCHER, 2000; PEZESHKI et al., 2000; LIN et al., 2002). Segundo BAKER (1970) poluições crônicas podem eliminar completamente a vegetação.

Os sintomas de injúria são variados e, geralmente, não específicos. A mesma substância pode induzir diferentes efeitos em diferentes espécies e, por outro lado, o mesmo sintoma pode ser produzido por diferentes substâncias (BAKER, 1970; LARCHER, 2000). Também, as propriedades e os danos causados por uma substância particular são modificados por outros fatores de estresse que afetam a planta ao mesmo tempo. Esses fatores, geralmente, aumentam os efeitos danosos do agente poluidor

principal. Dessa maneira, torna-se imprudente tirar conclusões a partir de um sintoma ou resposta isolado. Padrões de resposta envolvendo vários critérios proporcionam bases mais seguras para um diagnóstico a respeito da poluição como um fator de estresse (LARCHER, 2000).

Critérios para um reconhecimento inicial dos danos causados pela poluição incipiente são: acumulação de substâncias tóxicas ou de seus derivados nos tecidos vegetais, redução da capacidade de tamponamento dos tecidos (LARCHER, 2000), erosão da cera epicuticular (BAKER, 1970; LARCHER, 2000), diminuição ou aumento da atividade de certas enzimas (LARCHER, 2000), alterações quantitativas e qualitativas entre metabólitos (MALALLAH et al., 1996; MALALLAH et al., 1998; LARCHER, 2000), aparecimento de hormônios vegetais relacionados ao estresse (especialmente o etileno), aumento ou diminuição da respiração (LARCHER, 2000), distúrbios na fotossíntese (BAKER, 1970; SMITH et al., 1984; PEZESHKI; DELAUNE, 1993; MALALLAH et al., 1998; LARCHER, 2000; LIN; et al., 2002), alterações na abertura e fechamento estomático, diminuição na alocação dos assimilados para o sistema radicial (BAKER, 1970; LARCHER, 2000; BUJOKAS, 2001), alterações na taxa de evapotranspiração (LIN et al., 2002), e degradação da clorofila (BAKER, 1970; MALALLAH et al., 1996; MALALLAH et al., 1998).

Os óleos podem ser classificados em cinco categorias: (1) óleos muito leves tais como combustível de avião e gasolina; (2) óleos leves tais como diesel, óleo combustível N.º 2 e óleo cru leve; (3) óleos médios incluindo a maioria dos óleos crus; (4) óleos pesados tais como óleo combustível N.º 6, Bunker C e óleos crus pesados; e (5) óleos muito pesados que podem não flutuar tais como alguns óleos N.º 6 pesados. Esta classificação não é precisa, mas pode ser usada para remeter aos efeitos de diferentes tipos de óleo (PEZESHKI et al., 2000).

O impacto físico do óleo nas plantas ocorre primariamente pelo revestimento das folhas e superfície do solo (BAKER, 1970; PEZESHKI et al., 2000). Quando as folhas são revestidas, pode ocorrer estresse por temperatura, onde o aumento da temperatura nas folhas ocorre devido ao impedimento da transpiração (PEZESHKI; DELAUNE 1993). A fotossíntese também é reduzida por causa da restrição da entrada de CO₂ que

ocorre devido ao bloqueio da abertura estomática (PEZESHKI; DELAUNE, 1993). O grau no qual a fotossíntese e respiração são reduzidas pelo bloqueio da abertura estomática depende da área da planta coberta pelo óleo, que por sua vez depende da quantidade de óleo derramado, das condições hidrológicas e do tipo e dispersão do óleo. O bloqueio da abertura estomática pode levar à morte da planta ou pode ser seguida pela recuperação das trocas gasosas e brotamento de novos ramos, como reportado para várias espécies por PEZESHKI e colaboradores (2000).

O transporte de oxigênio atmosférico das folhas para as raízes é bem documentado como um mecanismo crítico na redução do estresse causado pela falta de oxigênio nas raízes de plantas crescendo em ambientes inundados, onde o nível de oxigênio do solo é extremamente baixo ou nulo (ARMSTRONG; BRÄNDLE; JACKSON, 1994). Portanto, se o óleo bloqueia os poros estomáticos, a difusão do oxigênio para as raízes diminui e o estresse causado pela hipóxia aumenta, o qual é o principal fator limitante do crescimento da planta (MENDELSSOHN; MCKEE, 1988; PEZESHKI; DELAUNE; PATRICCK-JR., 1989). Similarmente, a cobertura da superfície do solo pelo óleo restringe o movimento de oxigênio para o solo e pode resultar em condições anaeróbicas do solo, com isso, exacerbando o estresse pela hipóxia nas raízes das plantas (COWELL, 1969).

Os impactos químicos do óleo na vegetação variam muito entre os tipos de óleos. Alguns têm pouco efeito em curto prazo. Já outros, aparentemente penetram nas plantas e subsequentemente impedem a regeneração de novas folhas e ramos (PEZESHKI et al., 2000).

Em algumas plantas tolerantes ao sal, hidrocarbonetos de petróleo podem causar danos nas membranas das raízes, afetando o balanço iônico das plantas e sua capacidade de tolerar a salinidade (GILFILLAN et al., 1989).

As folhas quando cobertas pelo petróleo parecem ter efeitos nocivos mais imediatos para a planta do que quando somente os solos são contaminados. Quando os solos são contaminados, os novos ramos produzidos pelas plantas são expostos de maneira mais persistente aos efeitos do contaminante (MENDELSSOHN et al., 1990; LIN; MENDELSSOHN, 1996). Logo após a contaminação, foi observado que

Spartina alterniflora Loisel. manifestou uma redução na condutância estomática e não apresentou atividade fotossintética, o que sugere que a interrupção do aparato fotossintético nas folhas está diretamente sujeito à aplicação de óleo (PEZESHKI et al., 1995 apud PEZESHKI et al., 2000). Tais interrupções na estrutura foliar e/ou no sistema de clorofila podem ocorrer porque o bloqueio dos poros estomáticos induz uma redução na transpiração; portanto, o aumento da temperatura foliar e/ou dos efeitos adversos diretos do óleo que penetram no tecido foliar abalam a integridade das células (PEZESHKI et al., 2000).

Embora os efeitos adversos do óleo nas plantas em curto prazo sejam mais drásticos, as plantas podem, em longo prazo, se recuperar (BAKER, 1970; PEZESHKI et al., 2000). Por exemplo, indivíduos de *S. alterniflora* e *Juncus roemerianus* Scheele quando completamente cobertos por óleo cru, inicialmente, tiveram todas as suas folhas mortas. Entretanto, novas folhas começaram a ser produzidas em duas semanas e, dois meses após a contaminação, novas folhas mostraram taxas de trocas gasosas similares às das plantas controle (DELAUNE; PATRICK JR.; BURESH, 1979; SMITH et al., 1984; PEZESHKI ; DELAUNE ,1993). Produtos originados a partir do refinamento de óleos causam um efeito diferente nas folhas que os observados para os óleos crus. Por exemplo, plantas contaminadas com o óleo Bunker C morrem sem produzir novas folhas (PEZESHKI et al., 1995 apud PEZESHKI et al., 2000).

Derramamentos crônicos de óleo podem permitir que o óleo penetre e se acumule no solo. Parece que os tipos de solo e a matéria orgânica do solo (MOS) têm funções importantes no destino dos hidrocarbonetos de petróleo no solo, na extensão do dano causado na vegetação e na taxa de recuperação das plantas (PEZESHKI et al., 2000; KE et al., 2002). Em geral, o impacto nas plantas é maior para aquelas que estão presentes em solos com muita matéria orgânica (PEZESHKI et al., 2000). A MOS pode atrasar a biodegradação dos hidrocarbonetos porque pode substituí-lo e se tornar o substrato utilizado pelas bactérias consumidoras de hidrocarbonetos, e também, pode diminuir a disponibilidade de nutrientes se a quantidade de nutrientes presente no solo for baixa. Por essas duas razões, pode ser esperado que a MOS aumente o tempo ao qual as plantas são expostas às toxinas. Por outro lado, a MOS pode absorver as

toxinas presentes no solo contaminado, reduzindo assim sua biodisponibilidade e as injúrias causadas nas plantas (PEZESHKI et al., 2000). LIN e MENDELSSOHN (1996) observaram que elevadas concentrações de óleo no solo foram fortemente associadas com o conteúdo de MOS. Os autores supracitados informaram ainda, que a concentração de óleo foi 279 vezes maior no solo com 42% de matéria orgânica quando comparado com solo com a mesma composição de minerais, mas sem matéria orgânica.

Segundo DOWTY (1998) apud PEZESHKI et al. (2000), quando *Panicum hemitomom* Schult., *Sagittaria lancifolia* L. e *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. foram submetidas ao óleo, manifestaram elevadas taxas de fotossíntese e produção de biomassa. Entretanto, LIN e colaboradores (2002) demonstraram que mesmo nas menores concentrações testadas a biomassa de *Spartina alterniflora* diminuiu significativamente.

Alguns estudos indicam que a granulometria do solo influencia as taxas de degradação do óleo. Baixas taxas de degradação podem aumentar o tempo a que as plantas são expostas às toxinas. Comparando-se os efeitos da textura dos solos, FERRELL; SENECA e LINTHRUST (1984) reportaram que indivíduos de *S. alterniflora* crescendo em substrato de granulometria fina foram menos afetados pela presença de óleo que aqueles que cresceram em substrato de granulometria espessa. A resposta diferencial ao tipo de substrato provavelmente ocorreu devido à diferença no tamanho dos espaços formados entre as partículas do substrato. Espaços amplos como os que ocorrem em substrato arenoso permitem uma penetração mais rápida e profunda do óleo, enquanto nos espaços menores, presentes no substrato de granulometria fina, a penetração do óleo é mais lenta. Portanto, parece que a sensibilidade varia primariamente entre as espécies de plantas e que a granulometria do solo pode representar uma função secundária na sensibilidade entre indivíduos da mesma espécie (PEZESHKI et al., 2000).

A estação durante a qual ocorre o derramamento de óleo influencia o impacto do óleo na vegetação (PEZESHKI et al., 2000). RANWELL; HEWETT (1964) apud PEZESHKI et al. (2000) observaram que durante o período de senescência das plantas

o óleo não causa mortalidade significativa na vegetação, o que sugere que as plantas são mais sensíveis à aplicação de óleo durante seu período de crescimento que em outros períodos. ALEXANDER e WEBB (1985b) apud PEZESHKI et al. (2000) afirmaram que o óleo combustível N.º 2 aplicado no solo e nos ramos de *Spartina alterniflora* nas taxas de 2 Lm⁻² causaram uma redução mais acentuada na biomassa viva em maio (durante a estação de crescimento) que em novembro (no final da estação de crescimento). Está claro que as plantas são mais sensíveis aos efeitos do óleo durante a estação de crescimento que durante a pré-dormência ou estação de dormência. Durante a estação de crescimento as plantas estão ativas; portanto, qualquer interrupção nas funções fisiológicas ou dano nos tecidos da planta pode levar a sintomas óbvios. Muito dessa sensibilidade é devido à interrupção das funções fisiológicas que resultam da poluição pelo óleo (PEZESHKI et al., 2000).

LIN e MENDELSSOHN (1996), estudando quatro espécies de plantas – duas delas pertencentes à família Cyperaceae, reportaram que *Cyperus odoratus* L. não sobrevive a nenhum tratamento com óleo e que *Eleocharis quadrangulata* (Michx.) Roem. & Schult. pode persistir a altos níveis de óleo, mas não maiores que 8 Lm⁻².

Mudanças na composição da comunidade vegetal podem também se tornar evidentes após um derramamento de óleo. A diferença tem sido atribuída a variações na sensibilidade das espécies submetidas à poluição (RACINE, 1994; PEZESHKI et al., 2000). Por exemplo, em um derramamento de óleo cru, MENDELSSOHN e colaboradores (1990), notaram que *Spartina patens* (Aiton) Muhl., geralmente, manifesta uma recuperação menor que *Distichlis spicata* (L.) Greene e *S. alterniflora*. A espécie que obteve a melhor recuperação e mostrou um dos maiores aumentos de recuperação após o derramamento foi *S. alterniflora*. Tal resultado provavelmente ocorreu devido a uma maior tolerância à poluição pelo óleo (MENDELSSOHN et al., 1990; LIN; MENDELSSOHN, 1996). Portanto, é possível que a diferença de sensibilidade ao óleo entre as espécies pode interagir com o ambiente para determinar a composição das espécies em uma comunidade vegetal após o impacto causado pelo derramamento de óleo (PEZESHKI et al., 2000).

Em adição às variações interespecíficas nas respostas das plantas à poluição por óleos, também existem diferenças intraespecíficas na sensibilidade ao óleo (LARCHER, 2000; PEZESHKI et al., 2000). HESTER e colaboradores (1998, apud PEZESHKI et al., 2000) investigaram tais diferenças em *Spartina patens* e *S. alterniflora* e constataram que das 10 populações estudadas para cada espécie, todas manifestaram variação na fotossíntese, reprodução vegetativa e outras variáveis de crescimento quando submetidas ao óleo cru. Três meses após o tratamento com óleo cru, a maioria das populações estudadas manifestou elevadas taxas fotossintéticas que não diferiram significativamente das encontradas nos controles, enquanto que algumas populações ainda exibiam uma redução de 30 a 60% nas taxas fotossintéticas. Portanto, algumas das contradições nas respostas de certas espécies submetidas ao óleo podem ser explicadas, ao menos em parte, por uma variação entre indivíduos da mesma espécie na sensibilidade ao óleo (LARCHER, 2000; PEZESHKI et al., 2000).

2.2 Família Cyperaceae/*Rhynchospora corymbosa*

A família Cyperaceae é composta por aproximadamente 70 gêneros e 4.000 espécies de distribuição cosmopolita encontradas principalmente nas regiões tropicais (CRONQUIST, 1988; GUAGLIONE, 2001). Os gêneros com maior número de espécies são *Carex* (1.100), *Cyperus* (600), *Scirpus* e *Rhynchospora* (250) e *Fimbrilis* e *Scleria* (200). A referida espécie apresenta o seguinte posicionamento sistemático (CRONQUIST, 1988):

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Subclasse: Commelinidae

Ordem: Cyperales

Família: Cyperaceae

Gênero: *Rhynchospora*

Espécie: *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britt

Rhynchospora corymbosa é uma espécie cosmopolita e amplamente distribuída na América do Sul (GUAGLIONE, 2001); é popularmente conhecida por navalha-de-

macaco, capituva ou capim-navalha (LORENZI, 2000). *R. corymbosa* é uma erva emergente ou anfíbia, perene, cespitosa, de escapo floral áspero que mede aproximadamente um metro de altura, possuindo folhas de bordos cortantes (POTT; POTT, 2000; LORENZI, 2000; GUAGLIONE, 2001) e é tida como uma planta aquática ocasional (LÉON et al., 1998 apud POTT; POTT, 2000). De acordo com LORENZI (2000) a referida espécie é uma planta invasora, freqüentemente distribuída em áreas úmidas e pantanosas, principalmente da zona litorânea, da Amazônia e do pantanal Mato-grossense. Se distribuí ao longo das margens de lagos, lagoas, canais de drenagem, baixadas úmidas de pastagens e leitos semi-secos de represas e canais. Vegeta durante o período quente do ano, formando geralmente grandes toceras. É uma planta típica de brejos, tolerando solos ácidos e suportando uma ampla faixa de temperatura.

2.3 Anatomia de Cyperaceae

Os estudos anatômicos são de grande interesse para a família Cyperaceae porque permitem a diferenciação de espécies morfológicamente muito parecidas (METCALFE, 1969; 1971; TOIVONEN; TIMONEN, 1976; DENTON, 1983; STANDLEY, 1987a, 1987b; RAJBHANDARI; OHBA, 1988; LLAMAS et al., 1993). As células epidérmicas variam grandemente em formato em vista frontal e em secção transversal nos diferentes representantes da família Cyperaceae, podendo desta forma ser utilizadas como características de diagnóstico taxonômico (METCALFE, 1969; 1971; TOIVONEN; TIMONEN, 1976; DENTON, 1983; STANDLEY, 1987a, 1987b; RAJBHANDARI; OHBA, 1988; LLAMAS et al., 1993).

A presença de protuberâncias silicificadas na parede das células epidérmicas é característica da família Cyperaceae; dependendo das suas formas podem caracterizar subfamílias e gêneros, recebendo a denominação de corpos silicosos. Salienta-se que o número das mesmas por célula, também, tem valor taxonômico, variando, para a família de uma até mais de dezesseis protuberâncias (METCALFE, 1969; 1971). Os tricomas encontrados em indivíduos da família Cyperaceae são semelhantes àqueles

encontrados nas Graminae, os quais podem ter valor na diagnose em nível específico (METCALFE, 1969; 1971).

ESTELITA-TEIXEIRA e HANDRO (1987) estudaram a anatomia foliar, das brácteas e do escapo de espécies de *Cyperus* e *Fimbristylis* e observaram para *Cyperus corymbosus* Rottb, *C. flavosus* Boeck, *C. esculentus* L., *C. obtusatus* (Presl.) Mattf. & Kükenth, *C. rotundus* L., *C. papyrus* L. e *Fimbristylis annua* Link. uma íntima relação entre as células Kranz e as células do mesofilo, estando as últimas radialmente dispostas ao redor dos feixes vasculares. Os feixes vasculares nas espécies de *Cyperus* e *Fimbristylis* estudadas são colaterais. Nestes feixes, a bainha Kranz possui numerosos cloroplastos e situa-se internamente à bainha de mestoma.

UENO; TAKEDA e MAEDA (1988) analisaram a estrutura foliar em espécies C₄ na família Cyperaceae e revelaram que nestas espécies podem ser distinguidos três tipos de anatomia Kranz caracterizados pela estrutura das bainhas de feixe: Fimbristylid, Chlorocyperoid e Rhynchosporoid. No tipo Rhynchosporoid, como observado em *Rhynchospora rubra* (L.) Makino, os feixes vasculares são rodeados por duas bainhas de feixe: uma bainha Kranz interna que consiste em células de paredes espessadas e uma bainha parenquimática externa incompleta. No tipo Fimbristylid, o feixe vascular é rodeado por três tipos de bainha de feixe que consistem em uma bainha Kranz interna, uma bainha de mestoma mediana sem cloroplastos e uma bainha parenquimática externa. Por outro lado, o tipo Chlorocyperoid possui duas bainhas de feixe que consistem de uma bainha Kranz interna e uma bainha de mestoma externa, não estando presente a bainha parenquimática. Com exceção deste ponto, o tipo Chlorocyperoid mostra as mesmas características estruturais que as do tipo Fimbristylid.

LLAMAS e colaboradores (1993) estudaram a anatomia foliar das espécies européias pertencentes ao gênero *Carex* secção *Unciniformes* e observaram que a forma da lâmina pode variar entre os taxóns estudados. Na epiderme, em secção transversal, são observadas células buliformes, exceto em *C. pulicaris* L.; o número de células buliformes pode ser utilizado para separar as espécies estudadas. As células silicosas geralmente são abundantes e estão localizadas em filas relativamente largas

nas zonas costais da face abaxial, exceto em *C. macrostylon* onde as células silicosas estão afastadas, ou em filas curtas de somente duas ou três células. O número de corpos silicosos observados por célula é muito uniforme de um a dois em todos os táxons examinados. Os estômatos estão localizados na face abaxial das folhas em todos os táxons estudados. Estes estão distribuídos em intervalos, em fileiras paralelas ao eixo da folha e próximos às nervuras. Os estômatos possuem tamanho variável e são do tipo paracítico com células subsidiárias em forma de cúpula. Os feixes vasculares variam em número e disposição na lâmina foliar. Foi observada também a presença de cordões de fibras esclerenquimáticas na lâmina foliar reforçando os bordos na face adaxial. As lacunas aeríferas possuem morfologia pouco definida e estão localizadas entre os feixes vasculares.

ESTELITA (1993) analisou a anatomia dos órgãos vegetativos de *Remirea maritima* Aubl. Nas folhas, a autora observou que, em secção transversal, a epiderme foliar é constituída por células de paredes lignificadas, sendo a tangencial externa mais espessada e as anticlinais onduladas. Na face adaxial, ocorre uma ranhura mediana, na qual as células epidérmicas são maiores que as demais e não apresentam lignificação. As células epidérmicas de *R. maritima* apresentam deposição de sílica nas paredes periclinais internas sob a forma de protuberâncias cônicas. Estas estão circundadas por protuberâncias menores ou satélites. Podem ocorrer de dois a quatro corpos silicosos por célula. Os estômatos são do tipo paracítico e estão localizados na face adaxial. Internamente a epiderme da face adaxial, pode ser observada a presença de uma hipoderme; este tecido constituiu um parênquima aquífero. O clorênquima circunda os feixes vasculares, formando uma estrutura Kranz típica. Células aclorofiladas, cujo conteúdo reage positivamente para compostos fenólicos, ligam as células de clorênquima radiado entre dois feixes. Cordões de fibras esclerenquimáticas estão presentes no tecido fundamental. Estes localizam-se de maneira contígua às células epidérmicas com deposição de sílica. Os tricomas em *R. maritima* são unicelulares e resultantes de um pequeno prolongamento da célula epidérmica, com extremidade pontiaguda. Estes estão presentes em número reduzido e ocorrem isoladamente no bordo foliar.

Nas raízes de *R. maritima*, ESTELITA (1993) observou que, em corte transversal, ocorre uma hipoderme com duas a três camadas de células compactadas. Estas camadas mostram em algumas regiões, nítida estratificação; na camada mais externa ocorrem células de passagem. Seguem-se lacunas delimitadas por células em lise, pertencentes a camadas parenquimáticas dispostas como diafragmas. No parênquima cortical interno, as paredes celulares espessam-se gradativamente, de acordo com a fase de desenvolvimento do órgão. A endoderme tem paredes espessadas e toma parte na formação das raízes laterais. O periciclo apresenta-se menos espessado e é interrompido pelos pólos de protoxilema. A raiz é poliarca, porém os elementos do metaxilema são em número menor do que os do protoxilema.

VOSTER (1996), trabalhando com duas espécies de *Courtoisina*, *C. assimilis* (Steud.) Maquet e *C. cyperoides* (Roxb.) Soják, observou que, em seção transversal, as folhas de ambas as espécies são em forma de V, possuem quilha bem desenvolvida e tornam-se mais delgadas em direção às margens. Na face abaxial, a epiderme é composta por células pequenas, isodiamétricas, mais ou menos uniformes em tamanho, exceto nas margens e quilha onde ocorrem cordões de esclerênquima. Um corpo silicoso cônico normalmente está presente nas células localizadas abaixo destes cordões e preenche quase todo o lume das mesmas. Na face adaxial, as células possuem comprimento duas vezes maior que as das da face abaxial; são também duas vezes mais longas do que largas. No bordo as células epidérmicas são menores que as da face abaxial.

VOSTER (1996) constatou que o tecido fotossintetizante presente no mesofilo de *C. assimilis* e *C. cyperoides* é consideravelmente reduzido devido a presença de lacunas aeríferas bem desenvolvidas e numerosos feixes vasculares. Este é radialmente organizado ao redor dos feixes vasculares e das lacunas aeríferas. Os feixes vasculares estão organizados em linhas longitudinais no mesofilo, paralelas às superfícies epidérmicas e entre as lacunas aeríferas. O feixe vascular da quilha é o de maior tamanho, com feixes vasculares grandes localizados na região mediana da lâmina e flanqueados por feixes vasculares menores entre a margem e quilha. Os feixes vasculares possuem duas bainhas: a interna é fibrosa e a externa parenquimática. As

lacunas aeríferas são conspícuas, pouco espaçadas e ocupam a maioria da área do mesofilo. Estas lacunas são formadas pela desorganização das células parenquimáticas e seu número pode distinguir uma espécie da outra. O esclerênquima ocorre imediatamente adjacente à epiderme da face abaxial. Não ocorre nenhum cordão de esclerênquima central oposto à quilha, mas na face abaxial o feixe vascular da mesma é flanqueado por um cordão de esclerênquima de cada lado. Um cordão de esclerênquima ocorre, na face adaxial, próximo de cada margem de folha, oposto aos feixes vasculares marginais e adjacente à epiderme.

VOSTER (1996) observou que as raízes de *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides*, em secção transversal, são irregulares. O córtex consiste de células arredondadas que se tornam menores à medida que se aproximam da endoderme. As células do córtex se desintegram, ao longo de zonas radiais definidas, para formar grandes lacunas aeríferas. A endoderme é imperceptível nas raízes jovens, mas suas paredes se tornam muito espessadas durante o curso de diferenciação. No cilindro vascular é encontrado um único, central e grande elemento de metaxilema, cercado por 7 elementos de protoxilema periféricos em *C. assimilis* e por 7 a 12 em *C. cyperoides*.

PONESSA; TORRES e BENÍTEZ (1997) estudaram as folhas de 4 espécies de *Scirpus* secção *Monocephales* e observaram que, na folha em vista frontal, as células epidérmicas são hexagonais em *Scirpus acaulis* Phil. e *S. macroloopsis* Phil. Em corte transversal, as folhas de *S. acaulis*, *S. macroloopsis*, *S. chubutensis* C.B. Clarke e *S. deserticola* Phil. apresentaram células buliformes na face adaxial. Os estômatos são do tipo paracítico e estão distribuídos em 2 a 3 filas por zona intercostal, na face abaxial da folha de *S. acaulis* e *S. macroloopsis*. As lacunas aeríferas das folhas de *S. acaulis*, *S. chubutensis*, *S. deserticola* e *S. macroloopsis* apresentam formato retangular e estão dispostas paralelamente ao maior eixo das células epidérmicas. Em *S. acaulis* foram encontradas no interior das lacunas células parenquimáticas isodiamétricas e de paredes delgadas de maior tamanho que as do mesofilo. Em *S. macroloopsis* as células do interior da lacuna possuem formato poligonal e paredes delgadas. Os cordões de esclerênquima ocorrem nas margens das folhas e alguns em posição adaxial aos feixes vasculares, mas sem formar extensão de bainha em *S. acaulis*; em *S. chubutensis* de 1

a 4 cordões ocupam as margens ou regiões próximas a elas; em *S. deserticola* os cordões estão localizados no bordo ou na região mediana da lâmina foliar abaixo dos feixes vasculares.

PONESSA; TORRES e BENÍTEZ (1997) constataram que as raízes adventícias de *Scirpus acaulis* e *S. deserticola* possuem rizoderme e hipoderme uniestratificadas, a segunda possuindo paredes secundárias espessadas. O córtex é composto de câmaras de ar dispostas ao redor do cilindro central, delimitadas por células parenquimáticas. Em *S. acaulis* são encontradas 4 a 5 câmaras de ar delimitadas por 1 a 2 fileiras de células. A endoderme na referida espécie é uniestratificada e possui espessamento em U. Em *S. deserticola* o espessamento da endoderme é mais evidente na parede periclinal interna. O periciclo é uniestratificado e não se encontra interrompido pelos pólos de protoxilema. São encontrados 6 grupos de protoxilema alternados com as unidades de floema em *S. acaulis* e 5 a 6 em *S. deserticola*. Ocorrem 6 elementos de metaxilema em *S. acaulis* e um único elemento de vaso em posição central em *S. deserticola*.

STANDLEY (1987a) em seu trabalho sobre as espécies do gênero *Carex* seção *Phacocystis* encontrou que as folhas em *Carex emoryi* Dewey, *C. haydenii* Dewey, *C. stricta* Lam., e *C. torta* Boott possuem forma de W invertida; em *C. lenticularis* Michx. e *C. nigra* (L.) Reichard as folhas possuem forma de V. As características das células epidérmicas mostram grandes diferenças entre as espécies estudadas. Em *C. emoryi*, *C. haydenii*, *C. stricta*, e *C. torta*, a epiderme da face adaxial é lisa. Na face adaxial as células são grandes em todas as dimensões e têm uma cutícula mais espessa que as da face abaxial. As células da face adaxial de *C. torta* se assemelham as de *C. emoryi* e são mais curtas, largas, e espessas que as das outras espécies. *C. emoryi* e *C. stricta* possuem células epidérmicas de dimensões idênticas. As células epidérmicas de *C. haydenii* se assemelham as das espécies acima descritas em largura e espessura, mas são um pouco mais curtas. Em *C. emoryi*, *C. haydenii*, *C. stricta*, e *C. torta*, os estômatos estão confinados na face adaxial. Em *C. lenticularis* os estômatos estão presentes em ambas às superfícies epidérmicas, mas em *C. nigra*, os estômatos só estão presentes na superfície adaxial.

STANDLEY (1987a) encontrou ainda para as folhas das espécies de *Carex*, feixes vasculares dispostos em uma única fileira, com o feixe mediano e dois feixes laterais secundários conspicuamente maiores que os outros. Estes estão localizados perto da superfície abaxial e têm uma bainha interna esclerenquimática e uma bainha externa parenquimática, com esclerênquima adicional presente como uma extensão de bainha triangular na face abaxial. O esclerênquima da face adaxial varia em forma, mas geralmente consiste em um cordão acima do feixe e uma extensão de bainha triangular ou cordão. As lacunas aeríferas são delimitadas pelos feixes vasculares. Células grandes, arredondadas e de paredes espessadas ocorrem nos locais onde serão formadas as lacunas. Estas sofrem lise resultando na formação de dois tipos de lacunas de formatos e localizações distintas: as quadradas ocorrem nas porções mais espessas da folha e próximas do feixe vascular secundário; as transversalmente oblongas estão presentes em áreas mais delgadas da folha em direção à margem e quilha. As lacunas aeríferas estão localizadas próximas da superfície abaxial em *C. lenticularis* e *C. nigra*, mas próximas da superfície adaxial nas outras espécies analisadas. Tricomas espinhosos estão presentes nas zonas costais e lâmina de *C. haydenii*, *C. stricta*, e *C. torta*, mas ocorrem somente nas zonas costais de *C. emoryi*. Os tricomas espinhosos estão ausentes na superfície abaxial de *C. torta* e *C. emoryi*.

STANDLEY (1987b), trabalhando com *Carex cuchumatanensis* Standl. & Steyerl., *C. decidua* Boott, e *C. hermannii* Cochrane, notou que as folhas de todas as espécies possuem forma de V. A estrutura das lacunas de ar são semelhantes em todas as espécies de *Carex* estudadas. Os feixes vasculares próximos da superfície abaxial possuem uma bainha interna de esclerênquima e uma bainha externa de células parenquimáticas amplas. A bainha externa é interrompida por uma extensão de bainha esclerenquimática adaxial. Todos os feixes vasculares, exceto o mediano, têm extensão de bainha esclerenquimática triangular abaxial e um cordão triangular ou uma extensão de bainha adaxial estreita, enquanto o feixe vascular mediano tem um cordão adaxial pequeno e uma grande extensão de bainha abaxial assimétrica e crescentiforme. A autora observou também variação no número de feixes vasculares. Em *C. cuchumatanensis* ocorrem de 31 a 33 feixes vasculares em cada folha enquanto

que *C. decidua* e *C. hermannii* possuem somente de 15 a 19 feixes. O número de feixes vasculares distingue *C. cuchumatensis* das outras espécies, mas seus 31 a 33 feixes vasculares simplesmente podem ser uma consequência da aumentada largura da folha. As cavidades de ar estão localizadas entre os feixes vasculares, são quadradas em seção transversal, mais próximas da face adaxial e freqüentemente preenchidas por células grandes, vazias e de paredes delgadas.

SHARMA e MEHRA (1972), empregando a anatomia na delimitação de espécies de *Fimbristylis*, observaram que, em vista frontal, a epiderme das folhas é dividida em regiões costais (localizadas abaixo e acima dos feixes vasculares) e intercostais (entre feixes vasculares). Nas regiões costais, as células são geralmente estreitas e podem ser mais curtas. Na face abaxial, as células estão arranjadas em fileiras longitudinais e são alongadas ou retangulares com seus maiores eixos paralelos ao maior comprimento da lâmina foliar. Suas paredes longitudinais são sinuosas. As células, nas regiões costais, são pequenas e superficiais. A epiderme da face adaxial, na região intercostal, consiste de células comparativamente grandes. Geralmente, a epiderme da face adaxial é unisseriada em *F. aestivalis* (Retz.) Vahl e *F. ferruginea* (L.) Vahl; localmente múltipla em *F. bisumbellata* (Forssk.) Bubani, *F. dichotoma* (L.) Vahl, e *F. guinguangularis* Kunth; localmente múltipla a totalmente múltipla em *F. complanata* (Retz.) Link. e *F. tenera* Roem. & Schult.; e múltipla em *F. albicans* Nees, *F. falcata* (Vahl) Kunth, *F. littoralis* Gaudich, *F. monostachyos* Hassk., e *F. schoneoides* Vahl. A epiderme da face abaxial consiste de células menores que as da epiderme da face adaxial.

SHARMA e MEHRA (1972) observaram, em vista frontal, que os estômatos estão confinados à face abaxial e ao longo do bordo foliar. Eles estão organizados em fileiras longitudinais nas regiões intercostais e são do tipo de paracítico. Os estômatos de uma fileira individual estão separados um do outro por uma ou várias células epidérmicas. As células subsidiárias são triangulares em *F. bisumbellata*, *F. dichotoma*, *F. falcata*, *F. ferruginea*, e *F. tenera*; e fracamente hemicentricas em *F. acuminata* Vahl, *F. aestivalis*, *F. albicans*, *F. complanata*, *F. littoralis*, *F. monostachyos*, *F. guinguangularis*, *F. schoneoides*, e *F. tetragona*. Células silicosas

estão localizadas nas regiões costais das folhas de todas as espécies de *Fimbristylis* estudadas. A maioria destas células possui processos cônicos silicificados nas suas paredes internas; estes processos consistem em um corpo oco de sílica provido de uma projeção da parede celular interna. Tais células são características das Cyperaceae. Tricomas espinhosos estão presentes ao longo da margem da lâmina em todas as espécies de *Fimbristylis* com filódio. Seus ápices pontiagudos são direcionados para o ápice da lâmina. Eles também ocorrem na superfície adaxial da lâmina em *F. guinguangularis*, *F. schoneoides* e *F. tenera*.

SHARMA e MEHRA (1972) notaram, no mesofilo das folhas de algumas espécies de *Fimbristylis*, a presença de um clorênquima formado por células dispostas radialmente aos feixes vasculares e formando bainhas com uma camada. Os feixes vasculares no mesofilo formam uma fileira de feixes vasculares pouco espaçados que seguem o contorno da epiderme da face abaxial. Cada feixe tem três bainhas concêntricas. A bainha interna consiste de células parenquimáticas que possuem um grande número de cloroplastos; esta é geralmente interrompida pelo xilema. A bainha mediana é endodermóide, consistindo de células pequenas, incolores, radialmente achatadas e com paredes ligeiramente a conspicuamente espessadas. Seu espessamento pode ser mais pronunciado nas paredes tangencial interna e laterais que na parede tangencial externa. A bainha externa é composta de células parenquimáticas que contêm cloroplastos em menor número quando comparada à bainha interna. Os feixes vasculares podem ser classificados de forma arbitrária em três categorias: pequeno, intermediário e grande. Estes são classificados de acordo com a diferenciação, posição e presença ou não de lacunas nos elementos do xilema. As lacunas de ar estão presentes na lâmina foliar madura. Cordões de esclerênquima subepidérmicos estão presentes em diversas espécies de *Fimbristylis*. Estes cordões são geralmente mais comuns na face abaxial que na adaxial, mas em *F. ferruginea* a situação é invertida. Nesta espécie, os cordões das margens e abaixo do feixe mediano são os maiores. Geralmente, os cordões ocorrem acima e abaixo dos feixes vasculares, não estando conectados a estes por extensões de bainha.

SHARMA e MEHRA (1972) observaram que a anatomia da raiz é semelhante em todas as espécies de *Fimbristylis* examinadas. Nestas, a epiderme geralmente é perdida nas raízes maduras. Quando presente, abaixo desta camada pode ser observada uma exoderme bisseriada. Suas células possuem paredes espessadas e lignificadas, mas estas também podem permanecer parenquimatosas. Na porção madura, algumas células corticais sofrem lise para formar lacunas aeríferas dispostas radialmente. Na maturidade, as células endodérmicas possuem paredes espessadas, lignificadas, e em raízes muito velhas, podem ser impregnadas por uma substância de coloração marrom escura. O espessamento da parede destas células é quase uniforme ou em forma de U. No cilindro vascular, o periciclo é unisseriado. Esse é normalmente interrompido pelos pólos de protoxilema, mas é contínuo em *F. falcata*. O número dos feixes de xilema varia de 6 a 12 em espécies diferentes, dependendo principalmente do diâmetro do cilindro vascular. No centro, há um grande elemento de metaxilema comum a todos os feixes de xilema. O tecido interno do cilindro vascular consiste de células poligonais que possuem paredes espessadas e lignificadas em graus variados.

RAJBHANDARI; OHBA (1988) estudando a microestrutura da epiderme em *Kobresia* observaram que, em vista frontal, o comprimento das células epidérmicas tanto da face adaxial quanto da abaxial das 24 espécies e uma variedade estudadas variaram de 1 a 11 vezes mais longas do que largas. Suas formas variaram de retangular a longas e estreitas, com largura uniforme ou raramente não uniforme. Na superfície adaxial, às vezes, as células são também quadradas e em forma de bastão. As paredes periclinais externas das células epidérmicas da face abaxial são geralmente convexas. Entretanto, em 11 espécies e uma variedade elas também são planas. As paredes periclinais externas das células da superfície adaxial eram geralmente convexas, mas em cinco espécies foram observadas também paredes reduzidas. As paredes anticlinais em as ambas superfícies eram notadamente sinuosas e elevadas ou achatadas.

RAJBHANDARI e OHBA (1988) notaram que os estômatos estão comumente localizados na superfície abaxial em todas as espécies de *Kobresia* examinadas. Estes ocorrem em várias fileiras longitudinais na região intercostal, são flanqueados por duas

ou mais células subsidiárias e são do tipo paracítico. As células silicosas estão restritas à região costal, mais comumente localizadas na superfície abaxial. Os corpos de sílica são cônicos e variam de 1 a 5 em cada célula. Na superfície adaxial não foram observadas células silicosas, exceto em *Kobresia fragilis* C.B. Clarke onde foram encontrados de 1 a 2 corpos de sílica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada na propriedade pertencente à Refinaria de Petróleo Presidente Getúlio Vargas (REPAR), Município de Araucária, Paraná – Brasil (figura 1). Na área de 20 hectares que foi contaminada pelo petróleo retido no solo, foi estabelecida uma parcela entre as coordenadas S 25° 34' 56,6'' W 49° 21' 23,4'' e em uma área próxima e não contaminada foi estabelecida uma parcela controle entre as coordenadas S 25° 34' 54,1'' W 49° 21' 24,4''. O presente estudo teve início dois anos e oito meses após o acidente ocorrido na REPAR.

3.2 Análise Química do Solo

Foram coletadas amostras de solo das parcelas contaminada e controle a uma profundidade entre 10 e 30 cm para a realização da análise química. O solo foi coletado em 3 pontos em cada parcela, para formar uma amostra composta. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo e de Nutrição Mineral da Universidade Federal do Paraná, segundo as técnicas usuais para análise dos níveis de alumínio, H+Al, Ca⁺²+Mg⁺², cálcio, potássio, capacidade de trocas catiônicas (T), fósforo, carbono, pH, capacidade de saturação de bases (V), ferro, manganês, cobre e zinco.

3.3 Coleta e Análise Morfo-anatômica

Em cada uma das parcelas foram coletados 10 indivíduos de *Rhynchospora corymbosa* (figura 2). Materiais testemunhos foram coletados, herborizados e depositados no Herbário UPCB da Universidade Federal do Paraná sob número 46558. Dos indivíduos coletados, foram retiradas 5 folhas completamente desenvolvidas por indivíduo, as quais estavam localizadas na região mediana da roseta. Estas foram prensadas em papel jornal, desidratadas em estufa a temperatura constante de 60°C, pesadas e mensuradas quanto ao comprimento (cm), largura (cm), área (cm²) e área específica foliar (cm².g⁻¹). As medidas de comprimento e largura foram realizadas com auxílio de trena e paquímetro, respectivamente. Para a mensuração da área foliar, as folhas desidratadas em estufa tiveram suas imagens digitalizadas em scanner acoplado ao computador e a partir dessas imagens foram calculadas suas respectivas áreas pelo programa Sigma Scan Pro (versão 4.0, SPSS Inc., Chicago IL, USA). A área específica foliar foi determinada a partir da fórmula proposta por WITKOWSKI e LAMONT (1991), como segue:

$$AEF = \frac{\text{área foliar}}{\text{peso seco}}$$

Foram coletados 2 segmentos de raízes a 3 centímetros do caule e 2 terços medianos de folhas provenientes da região mediana da roseta. As amostras para análise anatômica foram então fixadas em FAA 70 (5:5:90) (JOHANSEN, 1940) e armazenadas em álcool 70% (JENSEN, 1962). Os materiais destinados às lâminas permanentes foram incluídos em historresina (hidroxietilmetacrilato), segundo técnica de FEDER e O'BRIAN (1968). Os blocos foram seccionados em micrótomo de rotação obtendo-se secções com cerca de 5 µm de espessura, as quais foram corados com azul de toluidina (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY, 1965) ou fucsina e azul de astra (ALVES DE BRITO; ALQUINI, 1996) e as lâminas montadas com resina sintética (Entellan[®]).

As lâminas semipermanentes foram montadas com amostras de raiz e folha seccionadas à mão livre, com lâmina de barbear. Nestas secções, foram realizados

testes microquímicos como Sudan III (SASS, 1951) para suberina e outros compostos lipídicos; lugol (BERLYN; MIKSCHE, 1976) para amido e Cloreto Férrico (JOHANSEN, 1940) para compostos fenólicos. Realizados os testes acima mencionados, o material foi montado entre lâmina e lamínula em glicerina 30% (PURVIS; COLLIER; WALLS, 1964). As observações foram efetuadas em microscópio óptico Olympus BX41 e o registro fotográfico no microscópio fotônico Zeiss Axiolab e no sistema de captura de imagem composto pela câmera Leica DC 300F acoplada ao microscópio Leica DMLB do laboratório de captura de imagem digital da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Nas descrições anatômicas foi empregada a terminologia utilizada por METCALFE (1969; 1971).

Para análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram utilizadas amostras fixadas em FAA 70 e desidratadas em seqüência alcoólica-etílica. Em seguida, o material foi submetido ao método do ponto crítico no equipamento Balzers CPC 10. Após o ponto crítico, foi efetuada a impregnação com ouro no equipamento Balzers Sputtering SCD 030. A análise e registro eletromicrográfico do material foram efetuados no MEV Jeol JSM-6360 LV.

Para cada folha analisada foram realizadas duas mensurações das seguintes variáveis: espessura da epiderme da face adaxial, do parênquima paliçádico, do parênquima lacunoso, da epiderme da face abaxial e do diâmetro da lacuna aerífera. A determinação das espessuras foliares foi efetuada no terço mediano de duas folhas completamente desenvolvidas de cada uma das plantas. Estas foram seccionadas transversalmente em micrótopo rotatório e tiveram a região média entre o bordo e a nervura central mensuradas em microscópio óptico Olympus CBB com ocular micrometrada.

A contagem estomática ($n^{\circ} \cdot \text{mm}^2$) foi efetuada em cinco folhas por planta da seguinte maneira: as lâminas foram preparadas utilizando o método da modelagem com esmalte incolor, que consistiu na aplicação desse sobre a face abaxial das folhas de *R. corymbosa*. A película de esmalte resultante da modelagem foi montada entre lâmina e lamínula em água destilada e a contagem estomática foi realizada em microscópio óptico Olympus CBB com câmara clara acoplada.

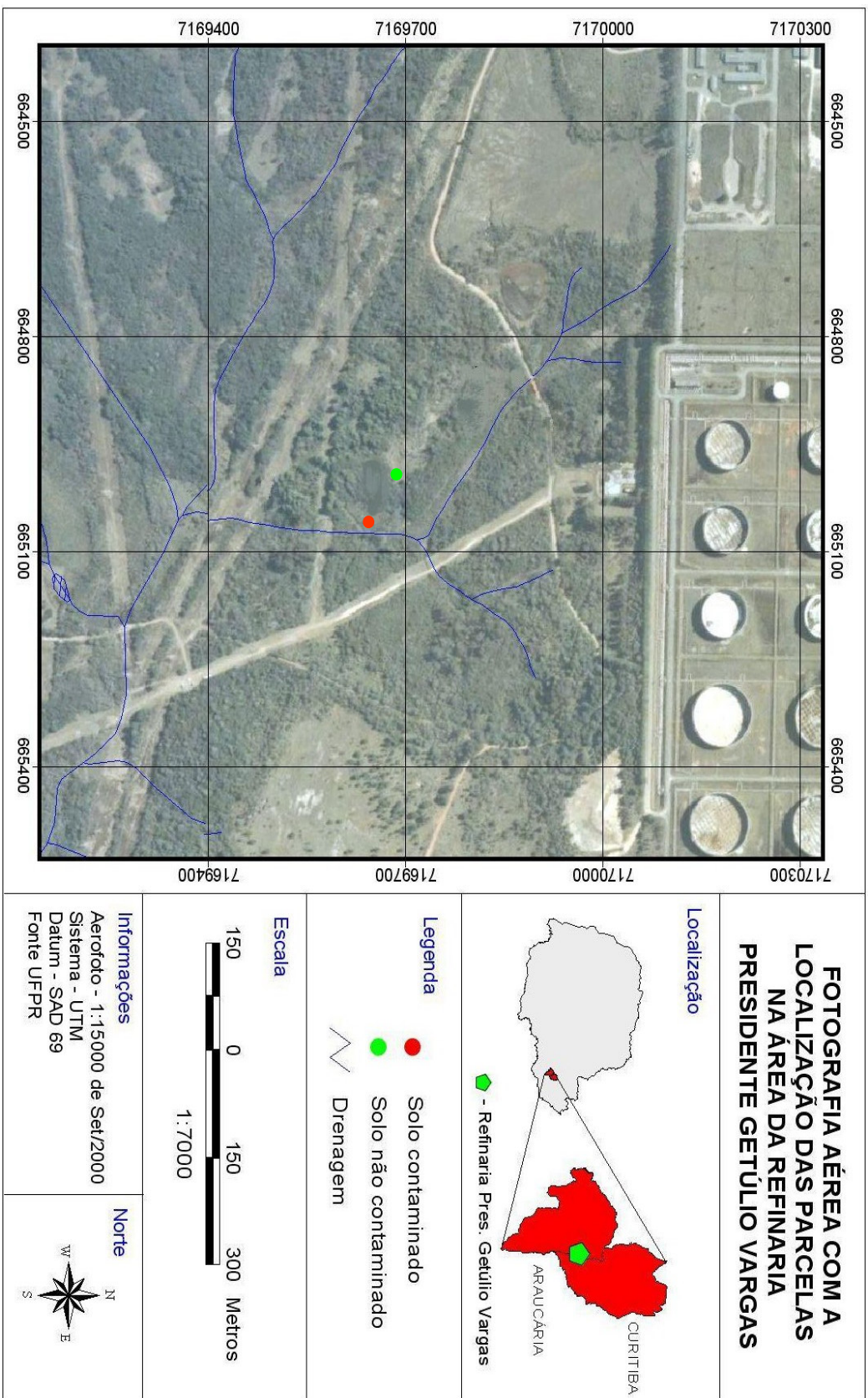


Figura 1. Fotografia aérea, com os pontos onde foram coletados os indivíduos de *Rhynchospora cornubosa*, na área da REPAR no Município de Araucária, Paraná – Brasil.



Figura 2: Indivíduos de *Rhynchospora corymbosa* crescendo na área da REPAR/Petrobrás, em Araucária-PR.

Para cada raiz foram realizadas duas mensurações das seguintes variáveis: diâmetro total, diâmetro do cilindro vascular e raio do córtex. As mensurações das raízes de *Rhynchospora corymbosa* foram efetuadas nos segmentos de duas raízes de cada planta. Estas foram seccionadas transversalmente em micrótomo rotatório e mensuradas em microscópio óptico Olympus CBB com ocular micrometrada.

3.4 Análise de Clorofila

Para a análise de clorofila foi coletada uma amostra do terço mediano de uma folha por planta em campo. Estas amostras foram envoltas em papel alumínio e conservadas em caixa térmica com gelo até serem transportadas para o laboratório. Em laboratório, as amostras foram mantidas em freezer até o momento da extração. A extração da clorofila foi realizada com 0,06 (g) de folha de cada amostra, maceradas em 10 mL de acetona 80%. Em seguida o macerado foi centrifugado por 3 minutos e a quantificação da clorofila foi determinada por espectrofotometria no aparelho U-2001 Hitachi de acordo com os coeficientes indicados por ARNON (1949).

3.5 Análises Químicas das Folhas

As folhas foram desidratadas em estufa e trituradas no equipamento Fritsch Pulverisette 14. Para a análise do conteúdo de P, K, Ca e Mg foram pesados 1g das amostras previamente trituradas. Estas foram então acondicionadas em cadinho e levado a mufla por um período de 3 horas à 500°C. Depois de resfriado foram adicionadas 5 gotas de HCl 3N e levado novamente na mufla por mais 3 horas a 500°C. Após o resfriamento, foram adicionados 10 mL de HCl 3N e aquecido em placa aquecedora a 70°C-80°C por aproximadamente 10 minutos. Em seguida as amostras foram retiradas da placa aquecedora, filtradas e os nutrientes foram determinados no aparelho de absorção atômica Perkin-Elmer modelo 2380.

Para a análise do conteúdo de N foram pesados 0,5g do material triturado, transferido para tubo de ensaio com acréscimo de 1g de catalisador (sulfato de cobre + sulfato de potássio) e 7,5 mL de H₂SO₄ concentrado. Após este procedimento, os tubos de ensaio foram levados ao bloco digestor onde permaneceram por 6 horas. Após digeridas, as amostras foram filtradas em balão volumétrico, tiveram seus volumes completados até 100 mL com água deionizada e o conteúdo de nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl.

3.6 Análise Estatística

Foram calculadas as médias e desvio padrão de todas as variáveis quantitativas. Os dados foram submetidos ao Teste t de student para verificar se existem diferenças significativas entre as plantas crescendo em solo contaminado e não contaminado por petróleo em função das diversas variáveis, com 5% de nível de significância. Posteriormente, foram realizadas correlações simples entre área e peso seco foliar, área e comprimento foliar, área e largura foliar, comprimento e peso seco foliar, largura e peso seco foliar e comprimento e largura foliar. As análises estatísticas foram realizadas no programa Estatística 6.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Química do Solo

O solo contaminado possui menores níveis de matéria orgânica (C), pH, capacidade de trocas catiônicas (T), capacidade de saturação de bases (V), fósforo disponível (P), e de potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}) trocáveis que o solo não contaminado. Entretanto, a acidez potencial (H+Al) foi maior no solo contaminado e o nível de alumínio trocável (Al^{+3}) apresentou valores nulos tanto para solo contaminado quanto para solo não contaminado (tabela 1).

Tabela 1: Análise de rotina do solo das parcelas com solo contaminado e não contaminado por petróleo, onde foram coletados os indivíduos de *Rhynchospora corymbosa*, na REPAR, Araucária – PR.

Variáveis	Al^{+3}	H+Al	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	Ca^{+2}	K^+	T	P	C	pH-SMP	V
	cmol _c .dm ⁻³					mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	%		
Solo Contaminado	0	6,2	7,8	4,8	0,1	14,1	2,4	24,5	5,7	56,2
Solo Controle	0	3,4	28,2	17,6	0,3	32	3,9	26,9	6,5	89,4

Variação semelhante dos valores de macronutrientes, como observado no presente trabalho, foi registrada por MAYER (2004). Entretanto, OLIVEIRA (2004) não observou variação entre os valores de macronutrientes para os solos contaminado e não contaminado por petróleo. Os trabalhos das autoras supracitadas foram desenvolvidos na mesma área, porém, em parcelas diferentes, o que denota que os tipos de solo eram diferentes de uma parcela para outra.

O solo contaminado apresentou pH mais ácido corroborando com os resultados observados por (OLIVEIRA, 2004). Porém, a quantidade de Al encontrada por OLIVEIRA (2004) foi maior no solo contaminado com petróleo. Entretanto, MAYER (2004) encontrou pH mais ácido e valores maiores de Al no solo não contaminado com petróleo.

O valor de bases trocáveis foi mais baixo no solo contaminado quando comparado com o valor observado no solo não contaminado. Tais resultados

corroboram com os obtidos por (OLIVEIRA, 2004) e divergem dos apresentados por MAYER (2004), onde tais valores são maiores no solo contaminado com petróleo.

Os conteúdos de Fe, Mn, Cu e Zn são cerca de 94, 63, 89 e 86%, respectivamente, maiores no solo contaminado (tabela 2). Os níveis de Fe, Mn, Cu e Zn no solo mostram valores aceitáveis dentro dos limites toleráveis sugeridos por MALAVOLTA (1980) e LARCHER (2000), não havendo contaminação por estes metais. Tais resultados corroboram os observados por (OLIVEIRA 2004). MAYER (2004) também reportou maiores valores de Fe, Cu e Mn em solo contaminado, com exceção de Zn, que apresentou menor quantidade no solo contaminado.

Tabela 2: Análise química dos micronutrientes do solo das parcelas contaminada e não contaminada onde foram coletados os indivíduos de *Rhynchospora corymbosa*, na REPAR, Araucária – PR.

Variáveis	Fe	Mn	Cu	Zn
	(mg.Kg ⁻¹)			
Solo Contaminado	575	230	3,1	21,2
Solo Controle	33,32	83,4	0,32	2,96

4.2 Análise Morfológica Foliar

O comprimento, largura, peso seco e área das folhas das plantas em solo contaminado com petróleo foram significativamente menores ($p < 0,05$) que nas folhas das plantas controle. Apesar de não ocorrer diferença significativa para a área específica foliar, pode ser observada uma tendência de diminuição de 5,1% nas plantas em solo contaminado. O comprimento, largura, peso seco e área foram cerca de 34, 28, 45 e 48%, respectivamente, maiores nas folhas de plantas controle do que nas plantas em solo contaminado (tabela 3). Foi observada correlação significativa e positiva entre área e peso seco foliar ($r = 0,9201$; $p < 0,05$), área e comprimento foliar ($r = 0,8387$; $p < 0,05$), área e largura foliar ($r = 0,8432$; $p < 0,05$), comprimento e peso seco foliar ($r = 0,8475$; $p < 0,05$), largura e peso seco foliar ($r = 0,8335$; $p < 0,05$) e entre comprimento e largura foliar ($r = 0,5936$; $p < 0,05$).

Tabela 3: Média (\pm desvio padrão) das variáveis morfológicas das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=10; GL=9). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Variáveis	SC	CV	SNC	CV
Comprimento Foliar (cm)	49,83 ($\pm 7,83$)	15,73	75,89 ($\pm 12,90$)*	17,01
Largura Foliar (cm)	0,63 ($\pm 0,11$)	18,67	0,87 ($\pm 0,22$)*	26,15
Peso Seco Foliar (g)	0,29 ($\pm 0,08$)	30,07	0,53 ($\pm 0,19$)*	37,03
Área Foliar (cm ²)	26,56 ($\pm 6,26$)	23,58	50,72 ($\pm 21,06$)*	41,52
Área Específica Foliar (g.cm ⁻²)	92,80 ($\pm 12,79$)	13,79	97,79 ($\pm 16,62$)	16,99

Com relação ao peso seco, MAYER (2004) não observou diferença significativa entre folhas de indivíduos de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg sob influência de solo contaminado por petróleo e controle em experimento de campo. Diminuição do peso seco foliar, como registrado no presente trabalho, pode ser observada em plantas sujeitas a outros tipos de estresse como poluição atmosférica (BÜNDCHEN, 2001). Entretanto, outros tipos de estresse podem não influenciar o peso seco foliar como observado por MARTINS (2002) para indivíduos de *Cladium mariscus* (L.) Pohl submetidos ao esgoto ou ainda ocasionarem um aumento significativo do mesmo como registrado por BUJOKAS (2001) para indivíduos de *Schinus terebinthifolius* Raddi submetidos à poeira de cimento. A autora informa que tal aumento ocorre devido à deposição das partículas do contaminante nas superfícies foliares. Comparando-se os resultados acima apresentados com os observados no presente trabalho, é possível notar que as respostas podem variar de acordo com a espécie em questão e com o poluente ao qual as plantas são expostas, assim como observado por BAKER (1970), LARCHER (2000), PEZESHKI e colaboradores (2000) e LIN e colaboradores (2002).

Com exceção do trabalho de MAYER (2004), poucos são os que avaliaram o peso seco das folhas em resposta ao solo contaminado por petróleo. A maioria dos trabalhos realizados com plantas em solo contaminado por petróleo cita uma série de alterações quanto à biomassa da parte aérea (ramos e folhas). Devido à importância do assunto, nossos resultados serão comparados com resultados de estudos que relacionaram a biomassa da parte aérea.

A contaminação das plantas por petróleo pode afetar a biomassa das plantas ou resultar na sua mortalidade (MALALLAH et al., 1996; LIN; MENDELSSOHN, 1998; NICOLOTTI; EGLI, 1998; LIN et al., 2002) e tais resultados são possivelmente atribuíveis às mudanças provocadas nas populações microbianas do solo (NICOLOTTI; EGLI, 1998), ao conteúdo de matéria orgânica presente no solo (LIN; MENDELSSOHN 1996; PEZESHKI et al., 2000; KE et al., 2002) ou a granulometria do mesmo (FERRELL et al., 1984; PEZESHKI et al., 2000; KE et al., 2002). A dosagem e o tipo de óleo são as duas variáveis mais importantes que determinam o grau de dano causado nas plantas (BAKER, 1970; LARCHER, 2000; PEZESHKI et al., 2000; LIN et al., 2002).

Diminuições significativas da biomassa aérea de plantas submetidas ao petróleo, semelhante ao observado no presente trabalho, são reportadas para *Vicia faba* (MALALLAH et al., 1996), *Lycopersicon esculentum* L. (KUHN et al., 1998), *Populus nigra* L. e *Picea abies* (L.) Karst (NICOLOTTI; EGLI, 1998), *Spartina alterniflora* e *S. patens* (LIN; MENDELSSOHN, 1998), *S. alterniflora* (HESTER; MENDELSSOHN, 2000; LIN et al., 2002) e *Althernanthera phyloxeroides*, *Phragmites australis* e *Panicum hemitomom* (DOWTY et al., 2001). Entretanto, dosagens baixas e intermediárias de óleo tendem a causar incremento ou pequena redução na biomassa aérea (LIN; MENDELSSOHN 1998; NICOLOTTI; EGLI, 1998; DOWTY et al., 2001; LIN et al., 2002). Em contrapartida, aumentos da biomassa aérea de plantas submetidas ao petróleo também podem ser observados, como os registrados para *S. alterniflora* (DELAUNE; PATRICK-JR; BURESH, 1979), *Ceratophyllum* sp. (JOHNSON; ROMANENKO, 1989) e *Sagittaria lancifolia* (DOWTY et al., 2001).

Para área foliar, OLIVEIRA (2004) não observou diferença estatisticamente significativa em plantas de *Schinus terebinthifolius*, em solo contaminado e não contaminado por petróleo. Resultado semelhante foi encontrado por MAYER (2004) onde indivíduos de *Campomanesia xanthocarpa* da área contaminada com petróleo no experimento de campo, não apresentaram diferenças significativas para o peso foliar em relação às da área não contaminada. Os resultados apresentados por OLIVEIRA

(2004) e MAYER (2004) não suportam os registrados para *Rhynchospora corymbosa* no presente trabalho.

Menores valores da área foliar, como registrado no presente trabalho, podem ser observados em plantas sujeitas a outros tipos de estresse como poluição atmosférica (BÜNDCHEN, 2001). Entretanto, outros tipos de estresse podem não influenciar a área foliar como observado por BUJOKAS (2001) para os indivíduos de *S. terebinthifolius* submetidos à poeira de cimento ou ainda ocasionarem um aumento significativo da mesma como registrado por MARTINS (2002) para indivíduos de *Cladium mariscus* submetidos ao esgoto. MARTINS (2002) revela que esta discrepância pode ter ocorrido devido ao estresse causado pelo transplante dos indivíduos nas estações de tratamento de esgoto. BONA e SANTOS (2003) observaram que após os primeiros três meses de transplante, indivíduos de *Campomanesia xanthocarpa* em solo contaminado tiveram menor crescimento que os de solo não contaminado. Entretanto, ao término do experimento não foi registrada diferença significativa entre as plantas de ambos os tratamentos. Os autores sugerem que tais resultados são decorrentes da adaptação das raízes ao solo contaminado por petróleo.

O tamanho efetivo das folhas está diretamente relacionado com o balanço entre o ganho de carbono e a perda de água e tende a aumentar diretamente com os gradientes de chuva, umidade ou fertilidade do solo, e diminuir com a maior radiação luminosa (GIVNISH, 1987). Conseqüentemente, a área foliar pode ser influenciada por fatores ambientais tais como umidade do ar e do solo, temperatura, e a intensidade luminosa. Plantas adaptadas a baixas intensidades luminosas produzem folhas delgadas e com grandes áreas, o que otimiza seu desempenho e desenvolvimento quando sombreadas; o oposto é observado em plantas adaptadas a elevadas intensidades luminosas, nas quais o mesofilo é mais espesso e a área foliar é reduzida, principalmente para minimizar a perda de água (GIVNISH, 1987; BOEGER, 2000; LARCHER, 2000). BUJOKAS (2001) cita que a deposição da poeira de cimento sobre a superfície foliar ocasiona um sombreamento artificial, o que induz um aumento da área foliar. No presente trabalho observou-se menores valores médios da área foliar nas plantas em

solo contaminado por petróleo. As áreas estudadas são muito similares e o que as diferencia é somente a presença de óleo no solo. Isto nos leva a crer que a ocorrência de folhas menores ocorre em função dos efeitos nocivos do petróleo, que impermeabilizam as raízes, dificultando a absorção de água, mesmo após dois anos e oito meses de contaminação. Este fato foi comprovado por BONA e SANTOS (2003) para *Schinus terebinthifolius*, *Mimosa scabrella* Benth., *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia uniflora* L. e *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl.

Com relação à área específica foliar, OLIVEIRA (2004), observou que indivíduos de *S. terebinthifolius* não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos com solo contaminado por petróleo e controle. Tais resultados divergem dos registrados para *Rhynchospora corymbosa* no presente trabalho.

A semelhança da área específica foliar entre plantas sujeitas a outros tipos de estresse e seus respectivos controles, como registrado no presente trabalho, foi observada para poluição por poeira de cimento (BUJOKAS, 2001). Entretanto, outros tipos de estresse podem ocasionar uma diminuição significativa da área específica foliar, como observado por BÜNDCHEN (2001) para *Araucaria angustifolia* em experimento com poluição atmosférica, ou ainda um aumento significativo, como registrado por MARTINS (2002) para *Cladium mariscus* sob influência do esgoto.

R. corymbosa recolonizou parte da área afetada pelo acidente com grande sucesso e pode ser considerada como uma espécie apta a recolonizar áreas contaminadas por petróleo. Essa mesma observação foi feita por COWELL (1969) e por LIN e MENDELSSOHN (1996) para *Spartina alterniflora*. Como observado por NICOLOTTI EGLI (1998) os efeitos indiretos do petróleo no solo são limitados a uma redução mais ou menos marcante do crescimento e é possivelmente atribuída às mudanças provocadas nas populações microbianas do solo. Portanto, estudos que levem em consideração as mudanças que ocorrem na microbiota do solo associados ao monitoramento das áreas contaminadas por meio de espécies bioindicadoras, podem ser muito importantes para uma melhor e mais rápida recuperação de áreas continentais impactadas por derramamentos de petróleo.

4.3 Análise de clorofila

Os teores de clorofila *a*, *b*, total e razão entre clorofila *a* e *b* em *R. corymbosa* crescendo em solo contaminado por petróleo não são estatisticamente diferentes quando comparados aos das plantas controle. Entretanto, podem ser observadas concentrações mais elevadas de clorofila *a*, *b*, total e razão entre clorofila *a* e *b* (15,36, 10,98, 14,24 e 5,45%, respectivamente) nas plantas do solo contaminado (tabela 4).

Tabela 4: Média (\pm desvio padrão) dos teores de clorofila das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=10; GL=9). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Variáveis	SC	CV	SNC	CV
Teor de Clorofila total (g.L ⁻¹)	218,83 ($\pm 39,70$)	18,14	187,67 ($\pm 45,68$)	24,34
Teor de Clorofila <i>a</i> (g.L ⁻¹)	162,85 ($\pm 28,67$)	17,61	137,84 ($\pm 36,00$)	26,11
Teor de Clorofila <i>b</i> (g.L ⁻¹)	56,03 ($\pm 12,56$)	22,41	49,88 ($\pm 11,20$)	22,46
Clorofila <i>a</i> /Clorofila <i>b</i>	2,94 ($\pm 0,33$)	11,11	2,78 ($\pm 0,39$)	13,93

Alterações nas concentrações dos pigmentos foliares, na ultraestrutura dos cloroplastos e nas taxas de fotossíntese, têm sido amplamente utilizadas como indicadores de danos causados nas folhas por substâncias ou radiações que causam algum tipo de estresse nas plantas (HAO; HALE; ORMOROD, 1997; CARRERAS; CAÑAS; PIGNATA, 1996; MALALLAH et al., 1998; SMITH; BURRIT; BANNISTER, 2000; SODA et al., 2000).

Resultados dos teores de clorofila *a*, *b* e total, semelhantes aos observados para *Rhynchospora corymbosa* no presente trabalho, também foram registrados para outras espécies submetidas ao solo contaminado por petróleo como em *Baccharis dracunculifolia* DC. (SEMCHECHEN, 2004) e *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk. e *Eugenia uniflora* (BONA; SANTOS, 2003). GREEN e colaboradores (1996) encontraram menores concentrações de clorofila com o aumento nos níveis de contaminação do solo pelo óleo diesel. OLIVEIRA (2004) registrou maiores teores de clorofila *a*, *b* e total em *S. terebinthifolius* crescendo em solo contaminado por petróleo. Resultados semelhantes foram observados para *Launaea mucronata* (Forssk.) Muschl. e *Picris babylonica* Hand.-Mazz. (MALALLAH et al.,

1998), *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L. B. Sm & Downs (BONA; SANTOS, 2003) e *Campomanesia xanthocarpa* no bioensaio em estufa (MAYER, 2004). Entretanto, no experimento de campo, MAYER (2004) registrou resultado inverso e sugere que tal alteração deve ter ocorrido devido a outro fator ambiental e não do contaminante.

CHUPAKHINA e MASLENNIKOV (2004) observaram que o conteúdo de antocianina, ácido ascórbico e riboflavina em 11 espécies vegetais submetidas à poluição do solo por óleo foi significativamente maior quando comparados ao controle. O acúmulo de tais substâncias pode ter ocorrido devido ao óleo no solo promover numerosos distúrbios nas condições edáficas, dentre eles a diminuição na aeração, ativação de microorganismos anaeróbios e mudanças nas condições hidrológicas e nas propriedades físicas do solo. Os autores revelam ainda que o conteúdo endógeno de antocianinas pode ser usado como um indicador do estado fisiológico das células e tecidos uma vez que caracteriza o grau de impacto ambiental de vários poluentes e pode ser utilizado no monitoramento ecológico de comunidades vegetais.

BAKER (1970) e MALALLAH e colaboradores (1996) informam que a destruição da clorofila é um dos mais óbvios sintomas da injúria causada pelos óleos. Os resultados descritos por SEMCHECHEN (2004), BONA e SANTOS (2003) e no presente trabalho contradizem esta afirmação. Esta contradição pode estar relacionada com as diferenças entre as espécies em resistir ao estresse imposto (BAKER, 1970; SMITH et al., 1984; PEZESHKI; DELAUNE, 1993; CARRERAS; CAÑAS; PIGNATA, 1996; MALALLAH et al., 1998; LARCHER, 2000; LIN et al., 2002), visto que *Rhynchospora corymbosa* é uma espécie que se adapta muito bem a condições adversas por ocupar uma grande variedade de habitats (UENO; KOYAMA, 1987; LORENZI, 2000).

A diminuição dos teores de clorofila parece ser comum em plantas submetidas a diferentes tipos de estresse como poluição atmosférica (GRATANI; CRESCENTE; PETRUZZI, 2000; BÜNDCHEN, 2001), poeira de cimento (BUJOKAS, 2001) e radiação UV-B (SMITH; BURRIT; BANNISTER, 2000). Entretanto, outros tipos de

estresse podem ocasionar um aumento significativo nos teores de clorofila, como para plantas submetidas à radiação UV-B (SMITH; BURRIT; BANNISTER, 2000) e ao esgoto (MARTINS, 2002), ou ainda não influenciar, como para poluição aérea (CAÑAS et al., 1997) e neste trabalho. Isto nos leva a crer que a resistência das espécies aos fatores estressantes deve estar relacionada à resposta fisiológicas intrínsecas e ainda desconhecidas.

Folhas de plantas jovens de *Betula pendula* Roth submetidas ao estresse hídrico e elevadas concentrações de O₃, tenderam a apresentar um aumento do conteúdo de clorofila quando comparadas àquelas bem hidratadas. Embora o ozônio contribua com a redução do conteúdo de clorofila, o estresse hídrico foi o principal fator que contribuiu para a redução no conteúdo de clorofila (PÄÄKKÖNEN; GÜNTHARDT-GOERG; HOLOPAINEN, 1998). Esse fato pode justificar o aumento dos teores de clorofila observados em *Rhynchospora corymbosa* no solo contaminado, visto que a presença de petróleo diminui a capacidade de retenção de água no solo (BONA; SANTOS, 2003; CHUPAKHINA; MASLENNIKOV, 2004).

MANDRE e TUULMETS (1997) e SMITH; BURRIT e BANNISTER (2000) observaram que plantas que mostram menores teores de clorofila quando submetidas à poeira de cimento e radiação UV-B, respectivamente, tendem a apresentar menores razões de clorofila *a/b*. A razão clorofila *a/b* pode mostrar diferentes resultados dependendo do tipo de poluição ao qual as plantas são submetidas. Nos dados obtidos, não foram observadas diferenças significativas entre plantas em solo contaminado por petróleo e controle. Resultado semelhante foi observado por BUJOKAS (2001) para *Araucaria angustifolia* submetida à poeira de cimento. Entretanto, SMITH; BURRIT e BANNISTER (2000) ressaltam que podem ocorrer exceções, como observado em *Phaseolus vulgaris* L. que apresentou razão clorofila *a/b* aumentada.

4.4 Conteúdo de Macro e Micro Elementos Foliare

Para *R. corymbosa*, as concentrações de N, Mg, P e Ca foliares não diferiram significativamente entre as plantas do solo contaminado e não contaminado por petróleo. A concentração de K foi 42,04% menor nas plantas em solo contaminado ($p <$

0,05). A concentração de N tende a ser 10,48% maior e as concentrações de P e Ca cerca de 9 e 24%, respectivamente, menores nas plantas em solo contaminado por petróleo (tabela 5).

Tabela 5: Média (\pm desvio padrão) dos teores de nutrientes foliares de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=5; GL=4). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Variáveis	SC	CV	SNC	CV
Nitrogênio Foliar (N) (g.Kg ⁻¹)	22,04 (\pm 1,41)	6,4	19,73 (\pm 5,03)	25,49
Magnésio Foliar (Mg) (g.Kg ⁻¹)	0,88 (\pm 0,15)	17,05	0,86 (\pm 0,11)	12,79
Potássio Foliar (K) (g.Kg ⁻¹)	10,92 (\pm 0,90)	8,24	18,84 (\pm 2,82)*	14,97
Fósforo Foliar (P) (g.Kg ⁻¹)	0,90 (\pm 0,55)	61,11	0,99 (\pm 0,21)	21,21
Cálcio Foliar (Ca) (g.Kg ⁻¹)	2,02 (\pm 0,13)	6,44	2,66 (\pm 1,29)	48,50

As plantas diferem na concentração de nutrientes minerais em seus tecidos, dependendo do ambiente, estágio de desenvolvimento e espécie. As folhas apresentaram concentrações mais altas de nutrientes associados com o metabolismo (N, P, K). O ambiente afeta fortemente a concentração de nutrientes da planta sendo que N, P, e K os que mais freqüentemente limitam o crescimento das plantas (MALAVOLTA, 1980; LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1998; LARCHER, 2000). Dessa forma, uma menor disponibilidade de K presente no solo contaminado (tabela 3) pode ter ocasionado uma menor absorção e conseqüentemente um menor conteúdo do mesmo nas folhas (tabela 5), resultando na redução observada nos valores médios do comprimento, largura, peso seco e área foliar.

OLIVEIRA (2004) encontrou pouca diferença na quantidade de macroelementos nas folhas de *Schinus terebinthifolius* em solo contaminado e não contaminado por petróleo. MAYER (2004) observou, em *Campomanesia xanthocarpa*, que Ca e Mg não apresentam diferença significativa entre as plantas de área contaminada e não contaminada por petróleo, enquanto que P e K apresentaram baixas concentrações em ambas as áreas.

As quantidades de tais elementos nas folhas de *Rhynchospora corymbosa* mostram valores aceitáveis dentro dos limites propostos para espécies de interesse comercial (MALAVOLTA, 1980; LARCHER, 2000), não havendo sintomas de

contaminação nem de deficiência nas folhas de plantas em solo contaminado por petróleo. Entretanto, a espécie em estudo apresenta fácil adaptação a diferentes ambientes, mesmo em condições adversas (UENO; KOYAMA, 1987; LORENZI, 2000), o que poderia, parcialmente, explicar os resultados obtidos no presente trabalho.

O solo contaminado por petróleo apresentou uma maior quantidade de macronutrientes e uma menor quantidade de bases trocáveis. Também foi registrado pH mais ácido no solo contaminado e, como observado por MALAVOLTA, (1980) e LARCHER (2000), quando os valores de pH são baixos alguns elementos podem ter sua absorção diminuída ou aumentada. Entretanto, os conteúdos foliares dos elementos analisados mostram valores aceitáveis dentro dos limites toleráveis sugeridos por MALAVOLTA (1980) e LARCHER (2000), o que sugere que o pH e o petróleo presente no solo não influenciaram negativamente na absorção dos nutrientes pelas raízes.

4.5 Descrição Morfo-Anatômica da Folha

4.5.1 Epiderme

Em vista frontal, as células epidérmicas da face adaxial da folha de *Rhynchospora corymbosa* estão dispostas em fileiras longitudinais, são retangulares, possuem paredes anticlinais sinuosas (figuras 3 e 4). Na face abaxial, as células epidérmicas são semelhantes as da face adaxial. Entretanto, a epiderme na face abaxial é dividida em regiões costais – localizadas sobre os feixes vasculares – e intercostais – entre feixes vasculares (figuras 5 e 6). Nas regiões costais ocorrem de 2 a 4 corpos silicosos por célula (figura 8). Os estômatos ocorrem somente nas regiões intercostais da face abaxial da folha e na face adaxial do bordo e estão dispostos em fileiras nas regiões intercostais (figuras 5 a 7). Esses são do tipo paracítico com células subsidiárias triangulares (figura 7). Tricomas espinhosos ocorrem no bordo da lâmina foliar (figura 9). Não foram observados danos nem tampouco diferenças na disposição e formato das células epidérmicas das plantas em solo contaminado por petróleo.

As células epidérmicas variam grandemente em formato em vista frontal nos diferentes representantes da família Cyperaceae e podem ser utilizadas como caractere de diagnóstico taxonômico (METCALFE, 1969; 1971; TOIVONEN; TIMONEN, 1976; DENTON, 1983; STANDLEY, 1987a, 1987b; RAJBHANDARI; OHBA, 1988; LLAMAS et al., 1993). Tricomas espinhosos geralmente são de importância secundária no diagnóstico porque eles ocorrem amplamente em toda a família (METCALFE, 1969; 1971).

SHARMA e MEHRA (1972) observaram que, em vista frontal, a epiderme das espécies de *Fimbristylis* é dividida em regiões costais e intercostais, como observado em *Rhynchospora corymbosa*.

PONESSA; TORRES e BENÍTEZ (1997) encontraram células hexagonais em vista frontal em *Scirpus acaulis* e *S. macrolopsis*. Já RAJBHANDARI e OHBA (1988) notaram que, em vista frontal, as células epidérmicas tanto da face adaxial quanto da abaxial das 24 espécies e uma variedade de *Kobresia* estudadas variaram muito no comprimento, passando de retangular a longas e estreitas; em *R. corymbosa*, essas células podem ser consideradas retangulares.

SHARMA e MEHRA (1972) observaram que na face abaxial da folha das espécies de *Fimbristylis*, as células estão arranjadas em fileiras longitudinais e são alongadas ou retangulares. Resultado semelhante foi registrado no presente trabalho e por RAJBHANDARI e OHBA (1988) para várias espécies de *Kobresia*.

As paredes anticlinais das células epidérmicas, em vista frontal, das espécies de *Kobresia* (RAJBHANDARI; OHBA, 1988), *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972) e *Cladium mariscus* (MARTINS, 2002) em ambas superfícies eram notadamente sinuosas, assim como observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho. Esse caractere tem importância no diagnóstico entre as espécies dentro da família Cyperaceae (METCALFE, 1969; 1971).

Estômatos localizados na superfície abaxial das folhas e em fileiras longitudinais na região intercostal, como observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho, têm sido registrados para vários gêneros dentro da família Cyperaceae, como *Kobresia* (RAJBHANDARI; OHBA 1988), *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA 1972), *Scirpus*

(PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997), *Carex* (STANDLEY, 1987a; LLAMAS et al., 1993; SAARELA; FORD, 2001) e *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997). Entretanto, estômatos localizados na face adaxial podem ser observados em espécies de *Carex* (STANDLEY, 1987a) e em *Remirea maritima* (ESTELITA, 1993), ou ainda em ambas as faces como em espécies de *Fuirena* (MUASYA, 1997), em *Carex lenticularis* (STANDLEY, 1987a) e *Cladium mariscus* (MARTINS, 2002).

Não foi observada diferença significativa na densidade estomática das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado e não contaminado (tabela 6). Entretanto, esta foi 8,26% maior nas folhas de plantas em solo contaminado por petróleo (tabela 6).

Tabela 6: Média (\pm desvio padrão) das variáveis morfológicas das folhas de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado (SC) e não contaminado por petróleo (SNC), coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=10; GL=9). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Variáveis	SC	CV	SNC	CV
Densidade Estomática (estômato.mm ⁻²)	799 (\pm 193,77)	24,25	733 (\pm 75,81)	10,34
Espessura Epiderme da face adaxial (μ m)	28 (\pm 1,6)	9,13	28,4 (\pm 2,9)	12,00
Espessura Epiderme da face abaxial (μ m)	7,8 (\pm 0,6)	11,46	8 (\pm 0,6)	10,59
Espessura Parênquima paliçádico (μ m)	30,6 (\pm 5,9)	20,39	26,2 (\pm 6,1)	25,77
Espessura Parênquima lacunoso (μ m)	18,5 (\pm 2,4)	18,14	17,5 (\pm 1,5)	15,73
Espessura Total do Limbo (μ m)	391,43 (\pm 35,81)	9,15	415 (\pm 56,08)	13,51
Diâmetro da Lacuna Aerífera (μ m)	230,10 (\pm 38,06)	16,54	256,24 (\pm 30,37)	23,56

Aumento na densidade estomática parece ser uma constante em plantas sujeitas a diferentes tipos de estresse como exposição ao ozônio (YUNUS; AHMAD, 1979; EVANS; ADAMSKI II e RENFRO, 1996; FERDINAND et al., 2000), poluição atmosférica (BÜNDCHEN, 2001) e exposição ao esgoto (MARTINS, 2002). Ao contrário do que foi registrado em *R. corymbosa*, no presente trabalho, BUJOKAS (2001) registrou diminuição da densidade estomática em *Schinus terebinthifolius* submetida a poeira de cimento.

A epiderme da folha de *R. corymbosa*, em secção transversal, mostra-se uniestratificada, com células mais altas do que largas na face adaxial e células menores e arredondadas na face abaxial. As células epidérmicas da face adaxial são buliformes, apresentam paredes anticlinais delgadas e ornamentações na parede periclinal externa

(figuras 10, 11 e 15, 16, 17, 19 e 20). Células buliformes presentes na face adaxial, assim como registrado para *Rhynchospora corymbosa*, no presente trabalho, ocorrem em algumas espécies de *Fuirena* (MUASYA, 1997), *Scirpus* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997) *Cyperus* (SHEPERD, 1976; ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997), *Kyllinga* e *Pycneus* (SHEPERD, 1976) e *Carex* (SHEPERD, 1976; FORD; BALL, 1992; SAARELA; FORD, 2001). Resultado semelhante foi observado por LLAMAS e colaboradores (1993) para várias espécies, exceto para *Carex pulicaris*. Entretanto, tais células buliformes registradas por SAARELA e FORD, (2001), LLAMAS e colaboradores (1993) e MUASYA (1997) estão presentes somente na quilha, ao contrário do encontrado para *R. corymbosa*, onde toda a epiderme é composta por células buliformes. ESTELITA (1993) encontrou para *Remirea maritima*, em secção transversal, epiderme foliar constituída por células de paredes lignificadas, ao contrário do observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho, onde as células epidérmicas apresentam paredes delgadas.

As células epidérmicas, na face adaxial, junto às extensões de bainha dos feixes vasculares de grande porte, possuem processos cônicos silicificados nas paredes tangenciais internas (figura 12), assim como observado por MEHRA e SHARMA (1965). No bordo, as células epidérmicas são menores, mais arredondadas e possuem a parede periclinal externa mais espessa que as demais (figuras 13 e 18). Não foi observada alteração entre as células epidérmicas das plantas em solo contaminado e não contaminado por petróleo (figuras 10 a 20). A cutícula, tanto da face adaxial quanto abaxial da folha das plantas do solo contaminado e não contaminado, é delgada e pouco evidente (figura 21). Os estômatos estão localizados no mesmo nível das células epidérmicas (figura 13). A espessura da epiderme tanto da face adaxial quanto da abaxial, das plantas em solo contaminado e não contaminado, não são significativamente diferentes ($p < 0,05$; tabela 6).

Maior espessura da epiderme da face adaxial em relação à epiderme da face abaxial, assemelhando-se ao registrado para *R. corymbosa*, no presente trabalho, foi observado em espécies de *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA 1972), *Fuirena*

(MUASYA, 1997), *Carex* (LLAMAS et al., 1993) e *Cyperus*, exceto em *C. haspan* L. (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997).

Epiderme unisseriada, como observado para *Rhynchospora corymbosa*, é encontrada em outros representantes da família Cyperaceae, tais como *Carex* (DENTON, 1983), *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997) e *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA 1972). Entretanto, a epiderme pode ser localmente múltipla, como em *Fimbristylis bisumbellata*, localmente múltipla para totalmente múltipla, como em *Fimbristylis complanata* e múltipla, como observado em *Fimbristylis albicans* (SHARMA; MEHRA 1972).

VOSTER (1996) observou em *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides* que a disposição e formato das células epidérmicas da face adaxial e abaxial bem como o número e forma dos corpos silicosos é semelhante ao observado para *R. corymbosa* no presente trabalho.

O tipo de estresse ao qual as plantas são submetidas pode causar variação na resposta. Em *R. corymbosa* não foi registrado diferença significativa na espessura da epiderme foliar entre plantas em solo contaminado e controle. Resultado semelhante foi observado para *Cladium mariscus* submetida ao esgoto (MARTINS, 2002). BÜNDCHEN (2001) encontrou menor espessura da epiderme da face adaxial de *Araucaria angustifolia* quando submetida ao ar poluído. Já BUJOKAS (2001) observou que os indivíduos de *Schinus terebinthifolius* submetidos à poeira de cimento apresentaram maior espessura da epiderme, tanto da superfície adaxial como da abaxial do folíolo, quando comparados ao controle e justifica tal aumento em decorrência da deposição das partículas de cimento, as quais formam uma crosta sobre a superfície foliar.

4.5.2 Mesofilo

O mesofilo de *R. corymbosa* é dorsiventral e os parênquimas clorofilianos são interrompidos por lacunas aeríferas (figuras 25 a 28). O parênquima paliádico é composto por 2 a 3 camadas de células tanto nas folhas de plantas em solo contaminado quanto nas de solo não contaminado (figuras 10 e 16). A espessura do

parênquima paliçádico nas folhas de plantas em solo contaminado não é significativamente diferente das folhas de plantas controle ($p < 0,05$). Entretanto, a espessura do parênquima paliçádico tende a ser 14,3% maior nas folhas de plantas em solo contaminado (tabela 6). O parênquima lacunoso é composto por células de formato irregular e constituído por 2 a 3 estratos (figuras 11 e 17); sua espessura não difere significativamente entre as folhas em solo contaminado e controle ($p < 0,05$; tabela 6). No mesofilo ocorrem idioblastos com compostos fenólicos que podem ter conteúdo homogêneo ou granuloso (figuras 10, 15 a 17, 20 e 24), idioblastos com compostos lipídios (figura 21 e 22) e ainda grãos de amido, presentes apenas nas folhas de plantas em solo contaminado (figura 23). A espessura foliar total não difere significativamente entre plantas em solo contaminado por petróleo e controle ($p < 0,05$; tabela 6).

Resultados semelhantes ao observado para espessura do parênquima paliçádico e lacunoso em *Rhynchospora corymbosa*, no presente trabalho, foram registrados para folhas de *Mimosa scabrela*, *Allophylus edulis*, *Podocarpus lambertii* (BONA; SANTOS, 2003) e *Schinus terebinthifolius* (OLIVEIRA, 2004) submetidas à poluição por petróleo, *S. terebinthifolius* submetida à poeira de cimento (BUJOKAS 2001) e *Cladium mariscus* submetida ao esgoto (MARTINS, 2002). Entretanto, BÜNDCHEN (2001) observou diminuição da espessura do parênquima paliçádico de *Araucaria angustifolia* submetida à poluição aérea e informa que tal diminuição é resultante da redução do tamanho das células desse parênquima e não do número de estratos celulares.

Na região da quilha da folha de *R. corymbosa* a camada de células buliformes é seguida internamente por parênquima fundamental. Abaixo desta camada de células ocorre o único feixe que compõe o sistema vascular na quilha. Células clorenquimáticas preenchem a quilha e junto a estas podem ser encontrados idioblastos com compostos fenólicos. Entre as células clorenquimáticas e a epiderme da face abaxial ocorre um feixe de fibras isolado do tecido vascular (figura 25 e 26).

Internamente à epiderme do bordo foliar ocorre parênquima clorofiliano onde também podem ser encontrados idioblastos com compostos fenólicos. Este é

interrompido pelo sistema vascular. Assim como na quilha, no bordo também é encontrado um feixe de fibras isolado, localizado junto às células epidérmicas da face abaxial (figuras 13 e 18). Não houve diferença visível na quantidade de compostos fenólicos entre as plantas de solo contaminado e não contaminado por petróleo.

Com relação à espessura total do limbo, resultado contrário ao observado para *Rhynchospora corymbosa*, no presente trabalho, foi registrado para folhas de *Campomanesia xanthocarpa* submetida à poluição por petróleo, onde o aumento da espessura foliar foi entendido como uma provável estratégia dessa planta para reduzir a perda de água (MAYER, 2004). Entretanto, *R. corymbosa*, também foi submetida ao solo com petróleo e a conseqüente impermeabilização das raízes pelo mesmo. Ao contrário de *C. xanthocarpa*, *R. corymbosa* mostrou menor espessura total do limbo em solo contaminado e isto pode ser entendido como uma maior capacidade adaptativa às condições adversas provocadas pela contaminação do solo por petróleo.

O tipo de estresse ao qual as plantas são submetidas pode causar variação na resposta da planta ao contaminante. Resultado semelhante ao observado para espessura total do limbo em *R. corymbosa*, no presente trabalho, foi registrado para folhas de *Schinus terebinthifolius* submetida à poeira de cimento (BUJOKAS, 2001). Entretanto, (MARTINS, 2002) observou que a espessura total do limbo de *Cladium mariscus* foi significativamente maior nas folhas de plantas provenientes do esgoto.

ESTELITA (1993) encontrou para *Remirea maritima* a presença de uma hipoderme voltada para a face adaxial e localizada logo abaixo das células epidérmicas. Este tecido não foi observado em *R. corymbosa*, no presente estudo, ocorrendo apenas parênquima fundamental junto à quilha.

Mesofilo dorsiventral, como observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho, foi observado em outros gêneros, tais como em algumas espécies de *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997), *Rhynchospora* (UENO; KOYAMA, 1987) e em *Cladium mariscus* (MARTINS, 2002). Entretanto, várias espécies possuem mesofilo radiado formando estrutura Kranz, como registrado para várias espécies de *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972), de *Cyperus* e em *Fimbristylis annua* (ESTELITA-TEIXEIRA; HANDRO, 1987), *Rhynchospora* (UENO; KOYAMA,

1987), em *Remirea maritima* (ESTELITA, 1993) e em *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides* (VOSTER, 1996).

Os parênquimas clorofilianos em *Rhynchospora corymbosa* estão dispostos abaxial e adaxialmente às lacunas aeríferas e são consideravelmente reduzidos devido à presença de lacunas aeríferas bem desenvolvidas e numerosos feixes vasculares. Resultado semelhante foi registrado para *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides* (VOSTER, 1996). Entretanto, o referido autor cita que em ambas as espécies por ele estudadas o parênquima clorofiliano além de estar disposto abaxial e adaxialmente às lacunas aeríferas também encontra-se organizado radialmente ao redor dos feixes vasculares, fato não registrado para *R. corymbosa*.

Idioblastos com compostos fenólicos, como observados em *R. corymbosa*, no presente trabalho, também foram observados em outras espécies pertencentes à família Cyperaceae, tais como alguns representantes de *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997) e em *R. maritima* (ESTELITA, 1993). Entretanto, a presença destes compostos nas plantas está relacionada a algum tipo de estresse, seja por petróleo (OLIVEIRA; 2003; MAYER, 2004), esgoto (MARTINS, 2002), ou fatores ambientais, tais como baixos níveis de nutrientes, luz e infecção por fungos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Em *R. corymbosa* as lacunas aeríferas possuem formato irregular, de retangular a cilíndrico, são delimitadas pelo parênquima clorofiliano e por diafragmas com células braciiformes, com braços curtos (figuras 31 e 33) que podem conter cloroplastos ou ainda compostos fenólicos. No interior da lacuna ocorrem células braciiformes, com braços longos e paredes delgadas (figuras 30, 33, 34 e 38) e esclereídes (astroesclereídes) com paredes ligeiramente espessadas e lignificadas (figuras 29, 30, 32 a 35). Essas esclereídes apresentam diminutas ornamentações de parede (figuras 36 e 37). O diâmetro da lacuna aerífera das folhas de plantas em solo contaminado não é significativamente diferente da encontrada nas folhas de plantas controle (tabela 6). Entretanto, foi observado que o diâmetro da lacuna aerífera tende a ser 10,2% menor nas plantas em solo contaminado com petróleo (tabela 6), provavelmente porque o

solo contaminado retém menos água e quanto menor a disponibilidade de água menor é o tamanho das lacunas aeríferas.

A presença de lacunas aeríferas, como observado em *Rhynchospora corymbosa*, foram registradas para outros representantes da família Cyperaceae, tais como *Scirpus* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997), *Cyperus* (DENTON, 1983; ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997), *Carex* (SHEPERD, 1976; STANDLEY, 1987a; 1987b; FORD; BALL, 1992; LLAMAS et al., 1993), *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972), em *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides* (VOSTER, 1996) e em *Cladium mariscus* (MARTINS, 2002). Entretanto, sua morfologia pode variar sendo quadradas (STANDLEY, 1987b), retangulares (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997), quadradas e transversalmente oblongas (STANDLEY, 1987a), irregulares, como observado no presente trabalho ou ter morfologia pouco definida (LLAMAS et al., 1993). Outro fator que parece variar é o tipo de formação dessas lacunas. STANDLEY (1987a) observou que células grandes, arredondadas e de paredes delgadas sofrem lise resultando na formação das lacunas aeríferas. Já VOSTER (1996) sugere que tais lacunas são formadas pela “desorganização” de células parenquimáticas e ARAUJO e LONGHI-WAGNER (1997) pelo “desaparecimento” de tais células durante a ontogênese.

A presença de diafragma no interior das lacunas aeríferas, como observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho, também foi observada em outros gêneros de Cyperaceae, tais como *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997) e *Cladium mariscus* (MARTINS, 2002). O formato das células braciiformes que compõem o diafragma pode variar de estrelado a arredondado dependendo da espécie em questão (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997).

4.5.3 Sistema Vascular

O sistema vascular de *R. corymbosa* é composto por feixes colaterais envoltos por duas bainhas, sendo a interna esclerenquimática (periciclo) e a externa parenquimática (endoderme). Os feixes vasculares podem ser classificados de forma arbitrária em duas categorias: (1) pequeno porte, onde xilema é diferenciado em

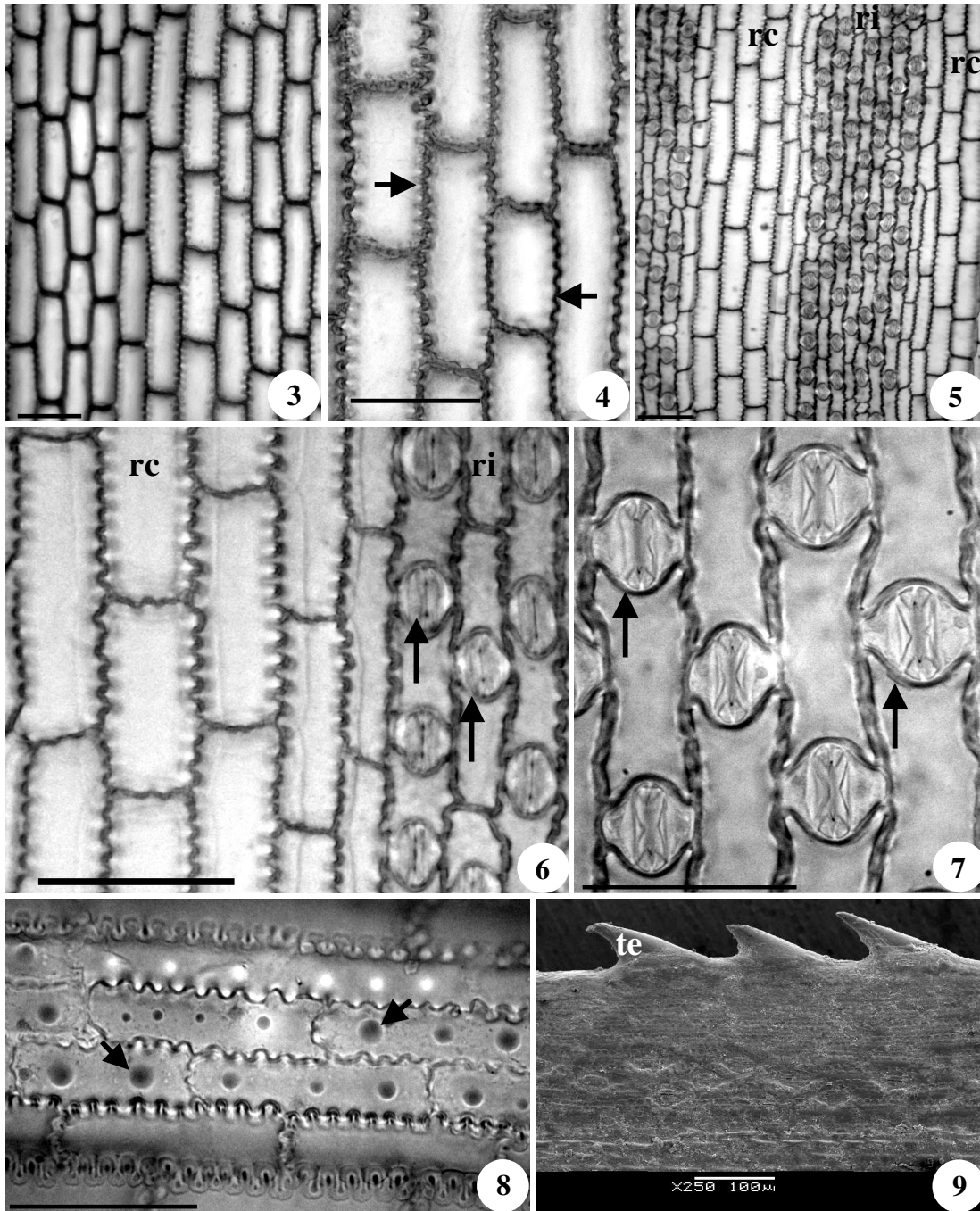
protoxilema (sem lacuna de protoxilema) e metaxilema com dois ou mais vasos comparativamente grandes, lado a lado; e (2) grande porte, onde há uma lacuna de protoxilema e os dois elementos de metaxilema são ainda maiores. A maioria dos feixes de grande porte apresentam extensão de bainha esclerenquimática em direção a face abaxial, podendo também, em alguns casos, apresentá-la em direção a face adaxial. Na maioria dos feixes de menor porte, a extensão de bainha é parenquimática (figura 14), podendo ocorrer, assim como nos feixes de maior porte, extensão de bainha esclerenquimática em direção a face adaxial (figuras 15, 19 e 20). Os feixes de grande porte estão localizados próximos da superfície abaxial, enquanto que os de menor porte estão mais próximos da epiderme da face adaxial (figuras 27 e 28). Na quilha, o sistema vascular é composto por um único feixe vascular envolto por fibras pericíclicas, endoderme e extensão de bainha esclerenquimática, (figura 25 e 26). No bordo, ocorrem três feixes vasculares de tamanhos diferentes e junto a eles é encontrada uma extensa calota de fibras que se estende até as células epidérmicas da face adaxial (figura 13 e 18). Feixes de fibras podem ocorrer entre a extensão de bainha parenquimática dos feixes de menor porte e a epiderme, além de ocorrerem na quilha (opostos aos feixes vasculares) e no bordo (figuras 13, 18, 25 e 26).

Feixes vasculares colaterais com periciclo esclerenquimático e endoderme parenquimática, como observado para *Rhynchospora corymbosa*, no presente trabalho, foram registradas para várias espécies de *Carex* (STANDLEY, 1987a; 1987b), *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997), *Cyperus* e *Fimbristylis* (ESTELITA-TEIXEIRA; HANDRO, 1987) e *Courtoisina* (VOSTER, 1996). Entretanto, SHARMA e MEHRA (1972) encontraram em folhas de espécies de *Fimbristylis* três bainhas concêntricas, sendo a bainha interna parenquimática e com cloroplastos densamente acumulados; a mediana é endodermóide com paredes ligeiramente espessadas; e a externa é semelhante a interna, porém sua concentração de cloroplastos é invariavelmente menor.

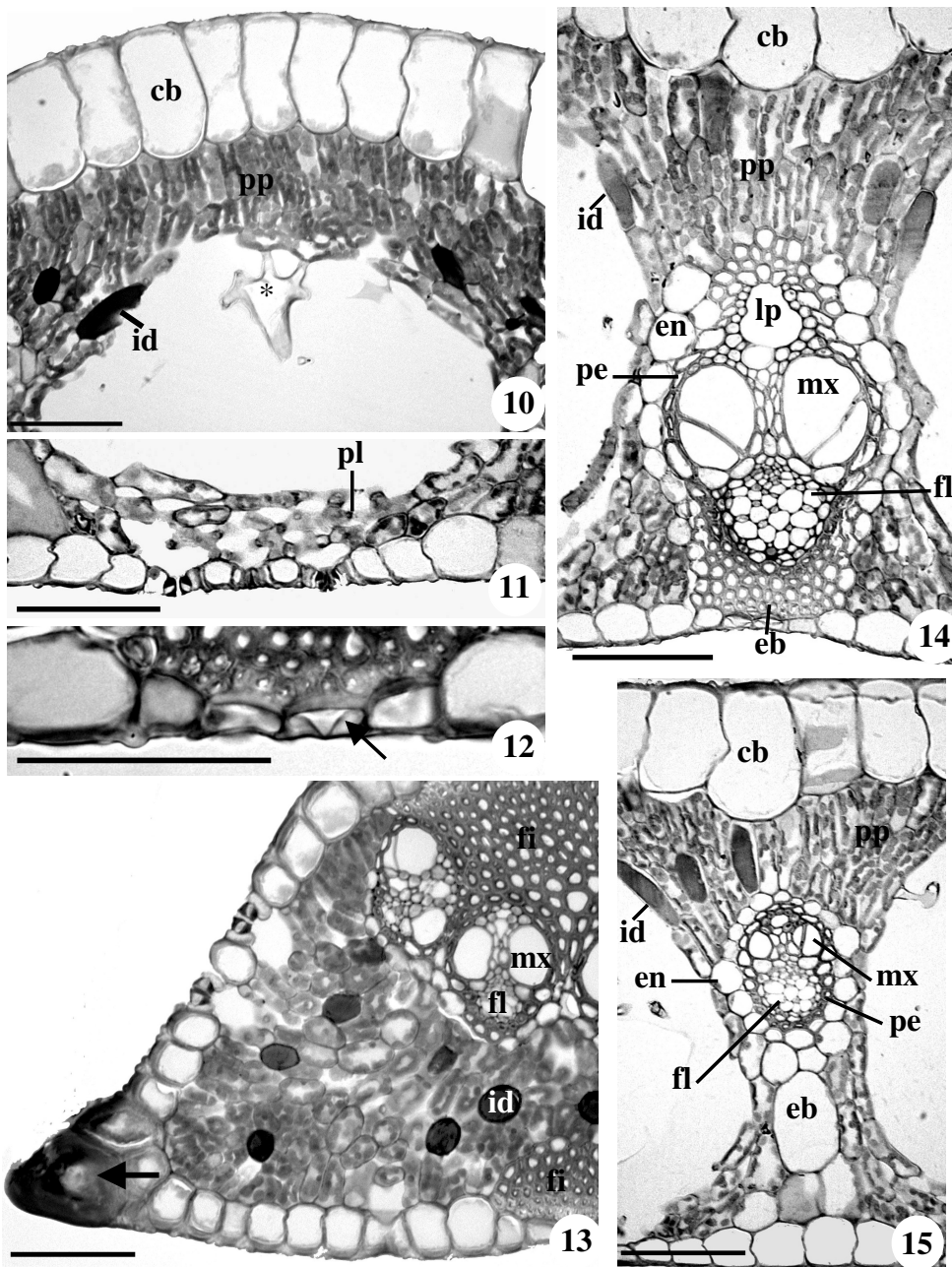
Feixes vasculares dispostos em uma única fileira ao longo da lâmina foliar, assim como registrado para *R. corymbosa*, ocorrem em outros gêneros da família Cyperaceae, tal como em *Carex* (SHEPERD, 1976; STANDLEY, 1987a; 1987b;

FORD; BALL, 1992; LLAMAS et al., 1993; SAARELA; FORD, 2001) e *Cyperus* (ARAUJO; LONGHI-WAGNER, 1997). Entretanto, sua localização no mesofilo varia muito entre as espécies dentro de um mesmo gênero. STANDLEY (1987a; 1987b) observou em algumas espécies de *Carex* que os feixes vasculares estão localizados próximos da superfície abaxial. SHEPERD (1976) e ARAUJO e LONGHI-WAGNER (1997) observaram que os mesmos estão mais ou menos equidistantes das duas faces da lâmina foliar. Já LLAMAS e colaboradores (1993) registraram que os feixes vasculares se apresentam deslocados para a epiderme abaxial. No presente trabalho, os feixes vasculares de *Rhynchospora corymbosa* mostram um misto do observado por STANDLEY, (1987a; 1987b) e LLAMAS e colaboradores (1993), onde os feixes vasculares de maior porte estão localizados próximos da epiderme da face abaxial, enquanto que os de menor porte estão mais próximos da face adaxial.

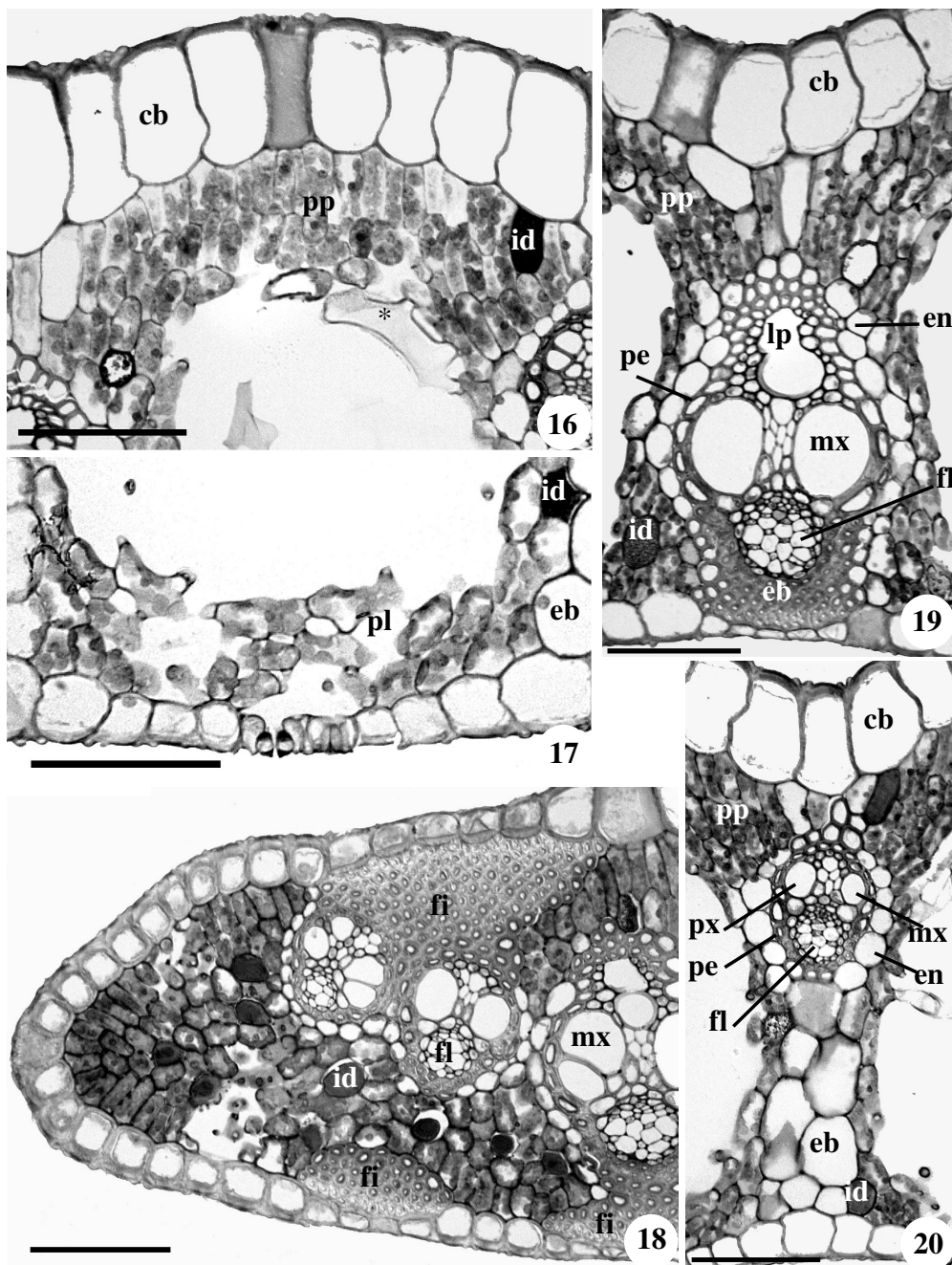
Na família Cyperaceae a folha é caracterizada pela presença de cordões de fibras subepidérmicos localizados tanto abaixo dos feixes quanto entre feixes, na face abaxial. Quando abaixo dos feixes e junto ao floema, eles podem ser livres ou formar extensão de bainha (MEHRA; SHARMA, 1965). ARAUJO e LONGHI-WAGNER (1997) observaram que os cordões esclerenquimáticos subepidérmicos ocorrem na maior parte das espécies de *Cyperus* na epiderme da face abaxial e opostos aos feixes vasculares, assemelhando-se ao observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho. Entretanto, em *Cyperus andreanus* Maury, *C. celluloso-reticulatus* Boeck., *C. haspan* L. e *C. luzulae* (L.) Rottb. ex Retz., estes cordões estão também presentes na face adaxial sob a epiderme. Os cordões da face adaxial são alternos aos feixes vasculares em *Cyperus andreanus* e *C. celluloso-reticulatus*, e opostos aos feixes vasculares em *C. haspan* e *C. luzulae*. Apenas em *C. surinamensis* Rottb. os cordões esclerenquimáticos estão ausentes.



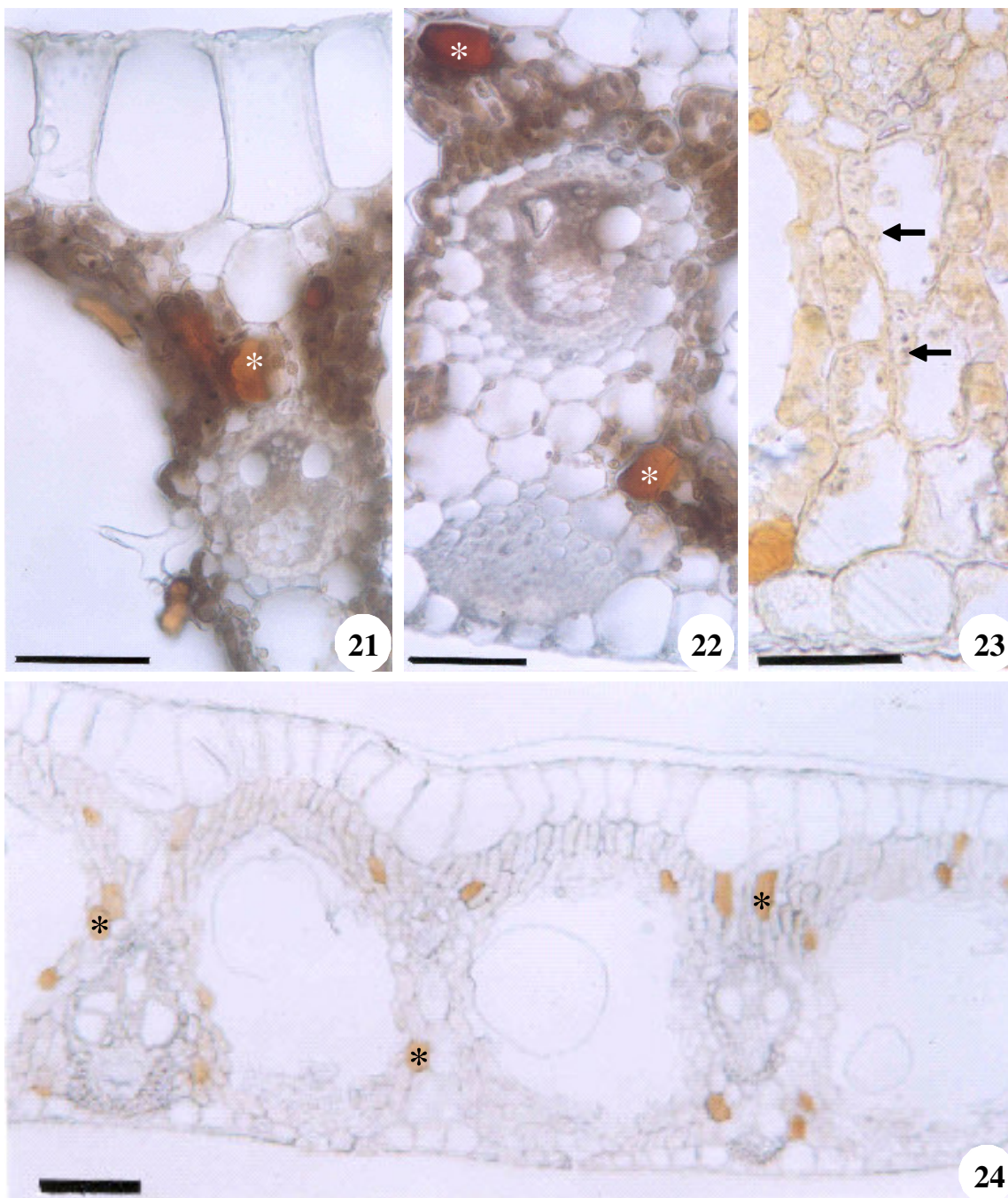
Figuras 3 a 9: Vista frontal das células epidérmicas das folhas de *Rhynchospora corymbosa*. 3- Visão geral da face adaxial (barra = 100µm). 4- Detalhe da face adaxial evidenciando as sinuosidades nas paredes (setas pretas; barra = 100µm). 5- Visão geral da face abaxial (barra = 100µm). 6- Detalhe das células epidérmicas da face abaxial e estômatos (setas pretas; barra = 100µm). 7- Detalhe dos estômatos (setas pretas; barra = 50µm). 8- Detalhe das células com corpos silicosos (setas pretas) com paredes sinuosas (barra = 50µm). 9- Eletromicrografia (MEV) do bordo foliar de planta em solo contaminado por petróleo evidenciando os tricomas espinhosos. 3 a 8 folhas de planta em solo não contaminado por petróleo. (rc) região costal; (ri) região intercostal; (te) tricoma espinhoso.



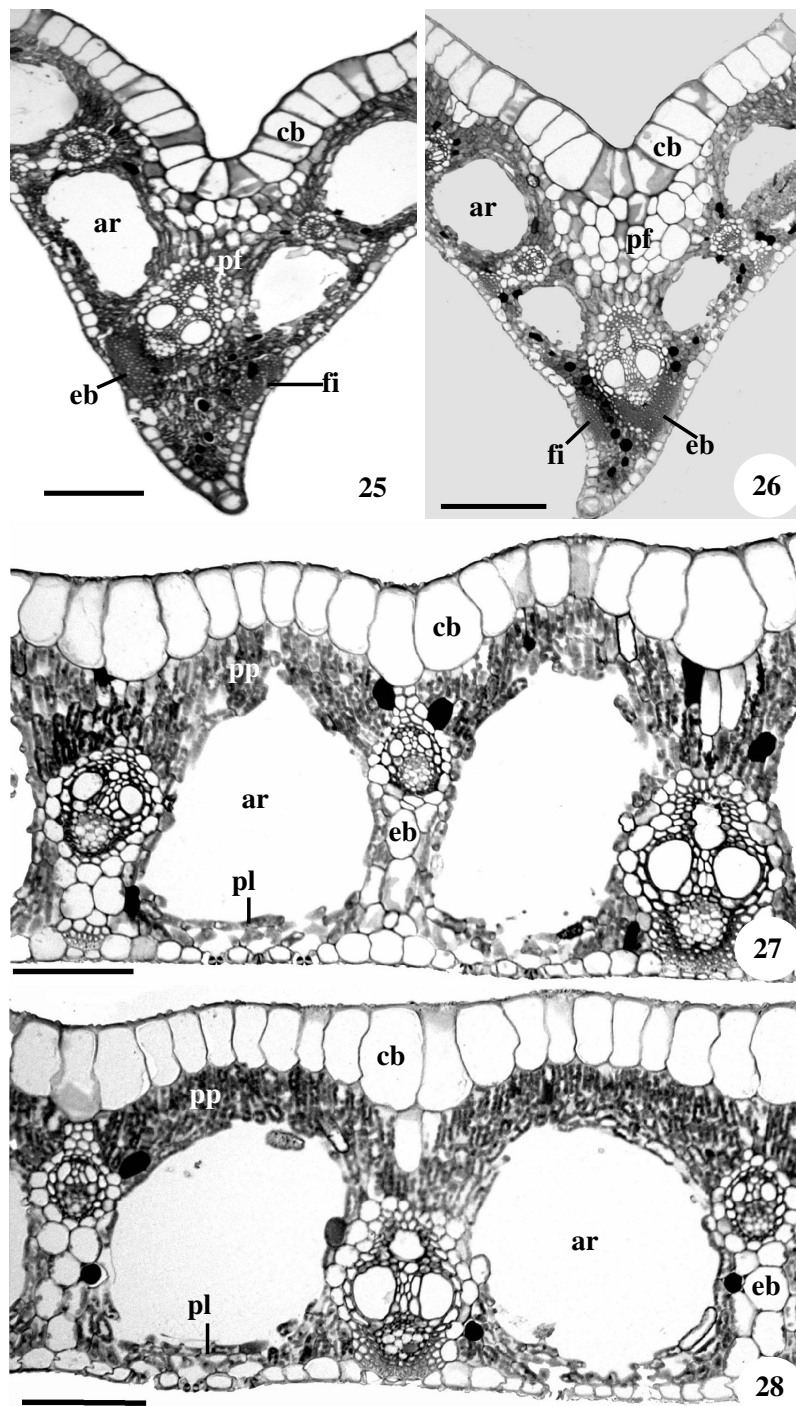
Figuras 10 a 15: Secções transversais da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo não contaminado por petróleo. 10- Detalhe do parênquima paliçádico (barra = 100µm). 11- Detalhe do parênquima lacunoso (barra = 100µm). 12- Detalhe da epiderme da face abaxial evidenciando os processos silicosos (seta preta; barra = 50µm). 13- Detalhe do bordo (barra = 100µm). 14- Detalhe do mesofilo evidenciando um feixe vascular de grande porte com extensão de bainha esclerenquimática (barra = 100µm). 15- Detalhe do mesofilo evidenciando um feixe vascular de pequeno porte com extensão de bainha parenquimática (barra = 100µm). (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (en) endoderme; (fi) fibras; (fl) floema; (id) idiblasto com compostos fenólicos; (lp) lacuna de protoxilema; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso; (px) protoxilema; (*) esclereíde.



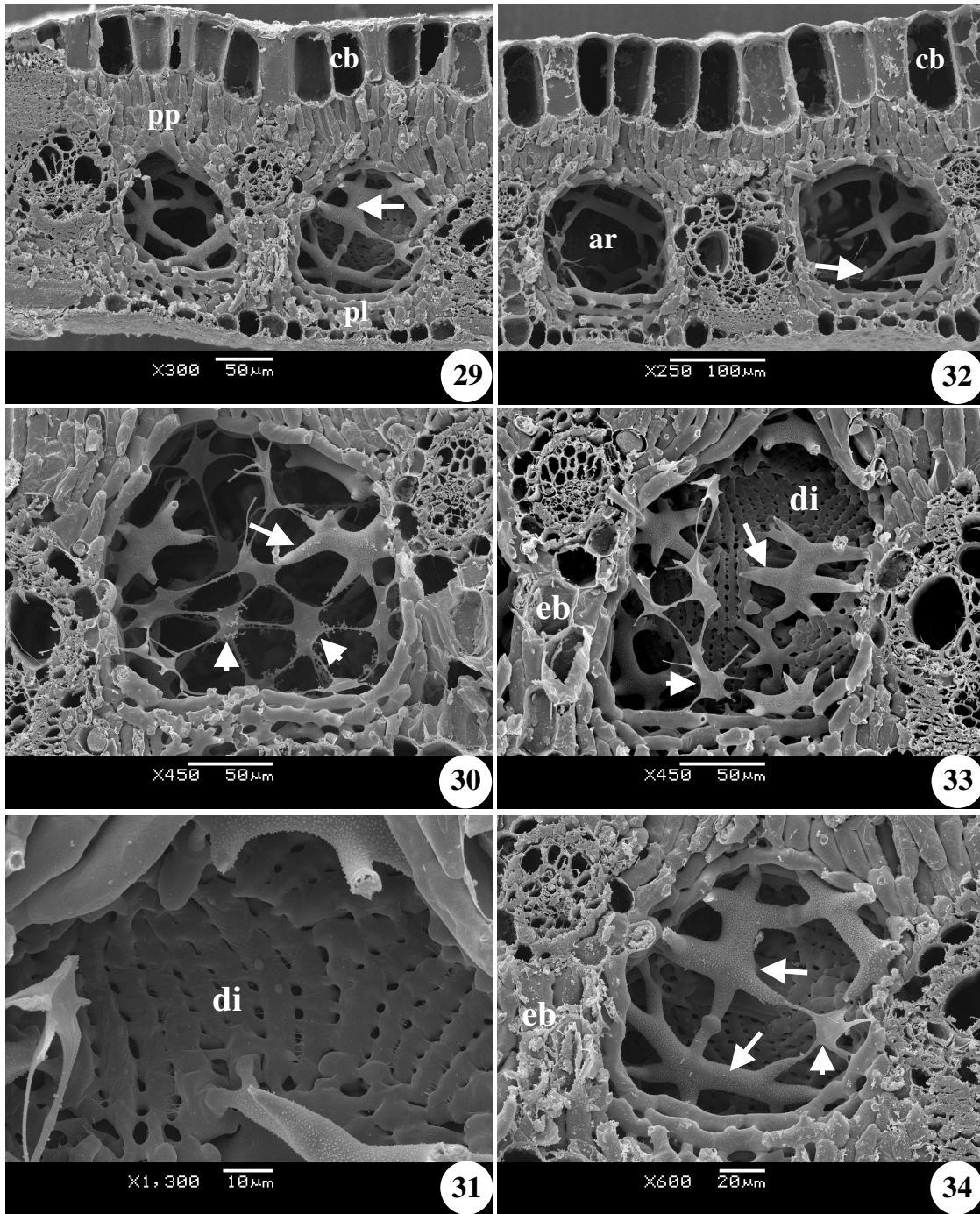
Figuras 16 a 20: Secções transversais da folha de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado por petróleo. 16- Detalhe do parênquima paliçádico e epiderme da face adaxial. 17- Detalhe do parênquima lacunoso e epiderme da face abaxial. 18- Detalhe do bordo. 19- Detalhe das células epidérmicas e do mesófilo evidenciando um feixe vascular de grande porte com extensão de bainha esclerenquimática. 20- Detalhe das células epidérmicas e do mesófilo evidenciando um feixe vascular de pequeno porte com extensão de bainha parenquimática. (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (en) endoderme; (fi) fibras; (fl) floema; (id) idiblasto com compostos fenólicos; (lp) lacuna de protoxilema; (mx) metaxilema; (pe) periciclo; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso; (px) protoxilema; (*) esclereíde; (barras =100µm).



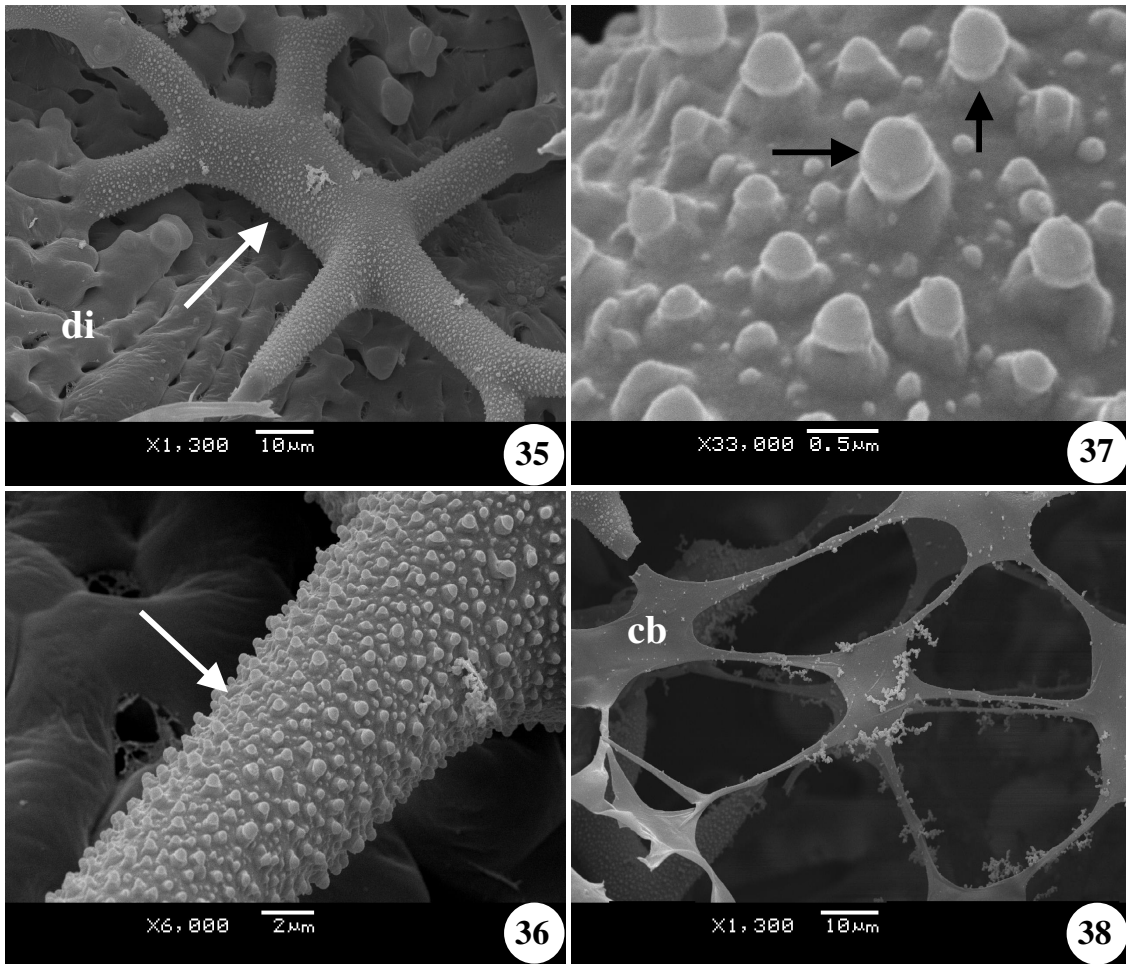
Figuras 21 a 24. Seções transversais da folha de *Rhynchospora corymbosa*. 21 e 22- Testes microquímicos com Sudan III evidenciando idioblastos com compostos lipídicos (*) em folhas de planta em solo contaminado por petróleo (barra = 50 μ m). 23- Detalhe de uma extensão de bainha parenquimática de folha em solo contaminado por petróleo, com grãos de amido (setas), teste realizado com lugol (barra = 50 μ m). 24- Detalhe do mesofilo de folha de planta em solo contaminado por petróleo evidenciando a distribuição dos idioblastos com compostos fenólicos (*), teste realizado com cloreto férrico (barra = 100 μ m).



Figuras 25 a 28: Secções transversais da folha de *Rhynchospora corymbosa*. 25- Visão geral da quilha (barra = 200 μ m) de planta em solo contaminado por petróleo. 26- Visão geral da quilha (barra = 200 μ m) de planta em solo não contaminado por petróleo. 27- Visão geral da lâmina foliar (barra = 100 μ m) em solo contaminado por petróleo. 28- Detalhe da lâmina foliar (barra = 100 μ m) de planta em solo não contaminado por petróleo. (ar) aerênquima; (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (fi) fibras; (pf) parênquima fundamental; (pp) parênquima paliçádico; (pl) parênquima lacunoso.



Figuras 29 a 34: Eletromicrografias (MEV) de secções transversais das folhas de *Rhynchospora corymbosa*. 29 a 31 folhas de plantas em solo contaminado por petróleo e 32 a 34 folhas de planta em solo não contaminado. (di) diafragma; (cabeça de seta branca) célula braciforme; (setas brancas) esclereides; (ar) aerênquima; (cb) células buliformes; (eb) extensão de bainha; (pp) parênquima paliádico; (pl) parênquima lacunoso.



Figuras 35 a 38: Eletromicrografias (MEV) de secções transversais das folhas de *Rhynchospora corymbosa*. 35 a 37- Detalhes de esclereides das folhas de plantas desenvolvidas em solo contaminado por petróleo. 38- Detalhe das células braciformes em folhas de plantas em solo contaminado. (cb) célula braciforme; (di) diafragma; (setas brancas) esclereides; (setas pretas) ornamentações das paredes das esclereides.

4.6 Descrição Morfo-Anatômica da Raiz

As raízes de *Rhynchospora corymbosa*, em corte transversal, apresentam epiderme uniestratificada composta por células de paredes delgadas (figuras 41 e 42). Não houve diferença na disposição da epiderme nem tampouco de danos celulares causados pelo petróleo presente no solo (figuras 41 e 42).

A presença de epiderme uniestratificada, como observado para *R. corymbosa*, no presente trabalho, foi registrada para outros membros da família Cyperaceae, tais como *Scirpus* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997) e *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972). Entretanto, SHARMA e MEHRA (1972) observaram que a epiderme das raízes geralmente é perdida nas raízes maduras, assemelhando-se ao observado para *R. corymbosa*.

O córtex externo é constituído por uma exoderme bisseriada, identificada através de teste positivo com Sudan III. Em ambas as camadas da exoderme é observada a presença de suberina. A camada externa da exoderme é constituída de células de paredes secundárias lignificadas e com espessamento em U invertido, sendo a parede periclinal externa mais espessada que as demais. A camada interna da exoderme é constituída de células menores, de paredes lignificadas. Essa camada é diferenciada pela presença de amido nas plantas do solo contaminado (figuras 41, 42 e 47).

Internamente a exoderme são encontradas de 1 a 4 camadas de células parenquimáticas isodiamétricas de paredes delgadas, formando o córtex externo (figuras 41 e 42). Não houve diferença na disposição das células do córtex externo e nem danos celulares causados pela contaminação do solo por petróleo.

Exoderme bisseriada foi encontrada nas raízes de várias espécies de *Fimbristylis*, as quais possuem paredes espessadas e lignificadas até certo ponto, mas também podem permanecer parenquimatosas (SHARMA; MEHRA, 1972), assemelhando-se ao observado para *R. corymbosa*. ESTELITA (1993) registrou que a exoderme em *Remirea maritima* pode variar de bi a trisseriada. Entretanto, PONESSA; TORRES e BENÍTEZ (1997) encontraram exoderme uniestratificada e de paredes espessadas nas

raízes adventícias de *Scirpus acaulis* e *S. deserticola*, o que denota que esta característica pode variar entre os membros da família Cyperaceae.

O córtex interno é constituído por 16 a 23 estratos de células parenquimáticas de formato isodiamétrico a levemente irregular. Esses estratos formam os septos que constituem um aerênquima de origem lisígena, evidente pelas paredes celulares remanescentes no interior dos septos (figuras 39 e 40). A endoderme possui espessamento em U (figuras 43 e 46). Não houve diferença na disposição das células do córtex interno; também não houve danos celulares causados pela contaminação do solo por petróleo (figuras 39 e 40). Os valores obtidos para o diâmetro total e do cilindro vascular das raízes de *Rhynchospora corymbosa* crescendo em solo contaminado e controle não são significativamente diferentes, ao contrário do observado para o raio do córtex ($p < 0,05$), que foi 14,37% menor nas raízes de plantas em solo contaminado com petróleo. Com relação ao diâmetro total, foi observado que o mesmo tende a ser 11,91% menor nas raízes das plantas em solo contaminado com petróleo (tabela 7). Tal resultado pode ser entendido como uma resposta da diminuição da disponibilidade de água causada pela presença de petróleo aderido ao sistema radicular.

Tabela 7: Média (\pm desvio padrão) das variáveis morfológicas das raízes de *Rhynchospora corymbosa* em solo contaminado e não contaminado por petróleo, coeficiente de variação (CV em %) e os resultados do Teste t de student (N=2; GL=1). (*) indica diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Variáveis	Solo Contaminado	CV	Solo Controle	CV
Diâmetro da Raiz (μm)	1907,99 ($\pm 373,26$)	19,56	2166,10 ($\pm 210,95$)	9,74
Raio do Córtex da Raiz (μm)	809,44 ($\pm 173,34$)	21,42	945,27 ($\pm 93,08$)*	9,85
Diâmetro do Cilindro Vascular (μm)	313,15 ($\pm 66,92$)	21,35	308,09 ($\pm 25,60$)	8,31

A formação de aerênquima nas raízes pela lise das células do parênquima cortical, como registrado para *R. corymbosa*, também foi observada para outros representantes de Cyperaceae, dentre eles *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972), *Scirpus* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997), em *Remirea maritima* (ESTELITA, 1993) e em *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides* (VOSTER, 1996).

Em algumas plantas, como *Oryza sativa* L., o aerênquima se desenvolve mesmo sem estímulo ambiental (TAIZ; ZEIGER, 2004). Em outras a formação do aerênquima é induzida pela deficiência de oxigênio em plantas submetidas ao alagamento (KAWASE; WHITMOYER, 1980; JUSTIN; ARMSTRONG, 1987; LAAN et al., 1989; ARMSTRONG et al., 1994; JACKSON; ARMSTRONG, 1999; BONA; MORRETES, 2003;).

Endoderme com espessamento em U, como observado em *Rhynchospora corymbosa*, no presente trabalho, foi registrada em várias espécies de *Scirpus* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997) e *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972). Entretanto, endoderme com espessamento uniforme pode ser encontrada em algumas espécies de *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972), em *Remirea maritima* (ESTELITA, 1993) e em *Courtoisina assimilis* e *C. cyperoides* (VOSTER, 1996).

Resultado semelhante ao observado para diâmetro total das raízes e raio do córtex de *R. corymbosa* em solo contaminado por petróleo, no presente trabalho, também é observado em espécies submetidas a outros tipos de estresse. Um exemplo claro foi registrado por MARTINS (2002) onde ocorreu diminuição da área total e do aerênquima das raízes de *Cladium mariscus* submetidas ao esgoto. Isto provavelmente ocorreu devido às raízes das plantas submetidas ao esgoto estarem mais superficiais e instaladas sob substrato de granulometria espessa, dessa forma tendo mais acesso ao O₂ que as plantas controle.

Grãos de amido estão presentes na endoderme da raiz de *R. corymbosa* tanto nas plantas em solo contaminado quanto nas plantas em solo não contaminado por petróleo (figuras 48 a 51). MAYER (2004) observou que as células do raio e do parênquima axial das raízes de *Campomanesia xanthocarpa* possuem maior quantidade de amido nos tratamentos sem contaminação, quando comparados aos tratamentos com solo contaminado por petróleo, em bioensaio. No entanto, as raízes das plantas de áreas contaminadas, no experimento de campo, apresentaram uma maior reserva de amido do que as áreas não contaminadas. A autora revela que tal acúmulo de amido pode ser importante para a referida espécie, pois esse pode ser consumido posteriormente propiciando um melhor desenvolvimento. OLIVEIRA (2004) também encontrou

pouca quantidade de amido localizada nas células do parênquima do xilema de *Schinus terebinthifolius*.

Nos indivíduos de *Campomanesia xanthocarpa* em bioensaio, MAYER (2004) observou a presença de compostos fenólicos em maior concentração nas células dos raios e no parênquima axial do xilema das plantas de solo contaminado e no floema das plantas dos tratamentos contaminado e não contaminado por petróleo com adubação. Entretanto, OLIVEIRA (2004) encontrou a presença de grande quantidade de células contendo compostos fenólicos na região do floema e nas células do parênquima axial e radial das raízes de *S. terebinthifolius*, todavia não ocorreu diferença visível entre os tratamentos. A autora constatou que a adubação do solo contaminado parece reduzir a quantidade de compostos fenólicos, demonstrando que a adição de nutrientes pode ter amenizado o estresse gerado pela contaminação com petróleo. No entanto, em experimento de campo, MAYER (2004) observou diferenças nas raízes das plantas das áreas com solo contaminado e não contaminado, com maior deposição de compostos fenólicos ocorrendo na região central da raiz da área contaminada.

No cilindro vascular da raiz de *Rhynchospora corymbosa*, o periciclo é formado por células de paredes ligeiramente espessadas e lignificadas, é interrompido pelos pólos de protoxilema (figuras 45 e 46) e toma parte na formação das raízes laterais. No centro da raiz são encontrados os elementos do metaxilema bem como células parenquimáticas do xilema com paredes lignificadas (figuras 43 e 44). A raiz é poliarca, porém os elementos do metaxilema ocorrem em número menor que os do protoxilema. O número de elementos de metaxilema tardio pode variar de 2 a 6 (figuras 43 e 44). Não houve diferença na disposição das células do cilindro vascular, nem tampouco danos celulares causados pela contaminação do solo por petróleo (figuras 45 e 46).

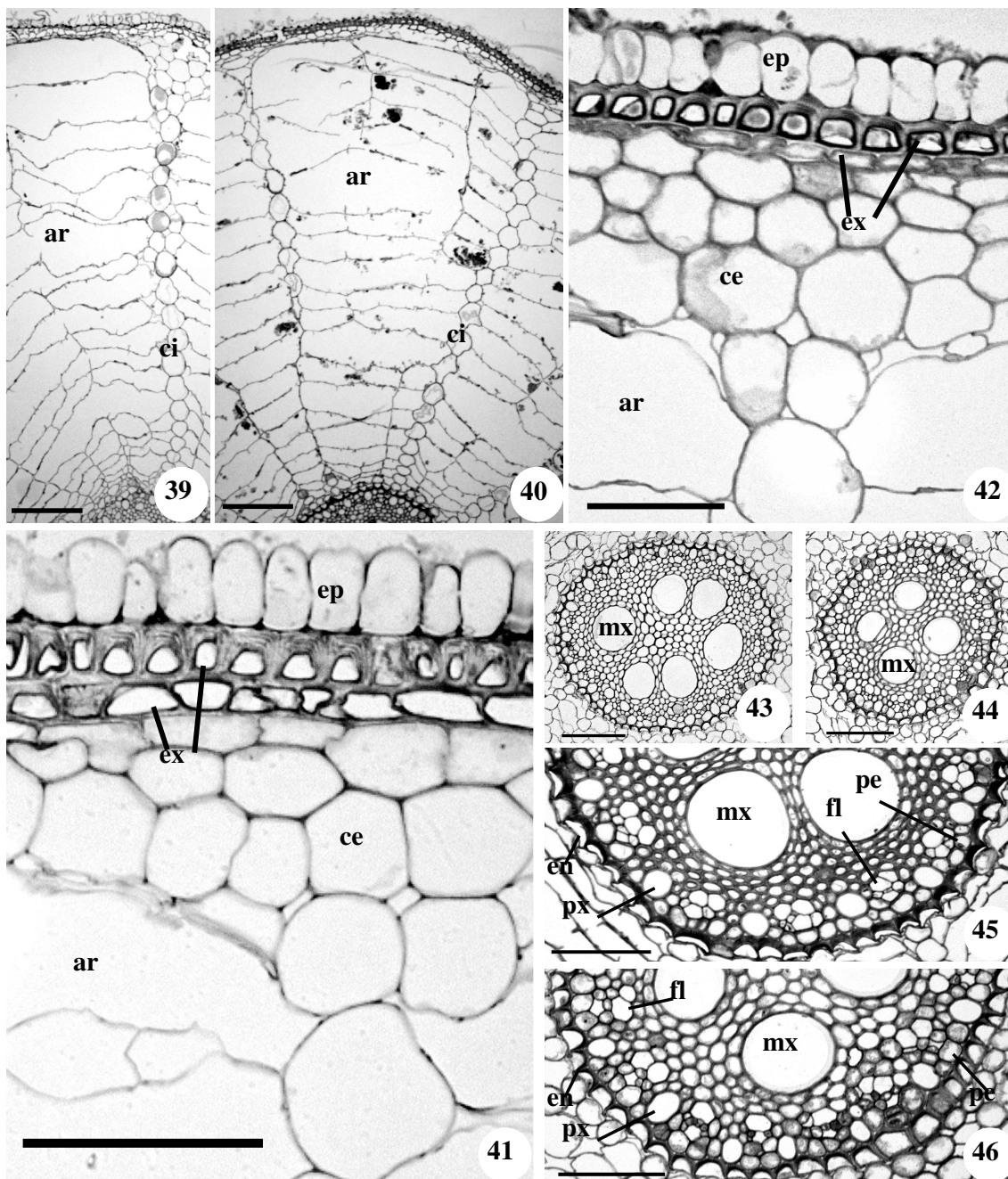
Periciclo unisseriado e interrompido pelos pólos de protoxilema, como observado nas raízes de *R. corymbosa*, no presente trabalho, foi registrado para espécies de *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972) e *Remirea maritima* (ESTELITA, 1993). Entretanto, SHARMA e MEHRA (1972) observaram que o periciclo é uniestratificado

e contínuo em *Fimbristylis falcata*. Resultado semelhante foi registrado por PONESSA; TORRES e BENÍTEZ (1997) em algumas espécies de *Scirpus*.

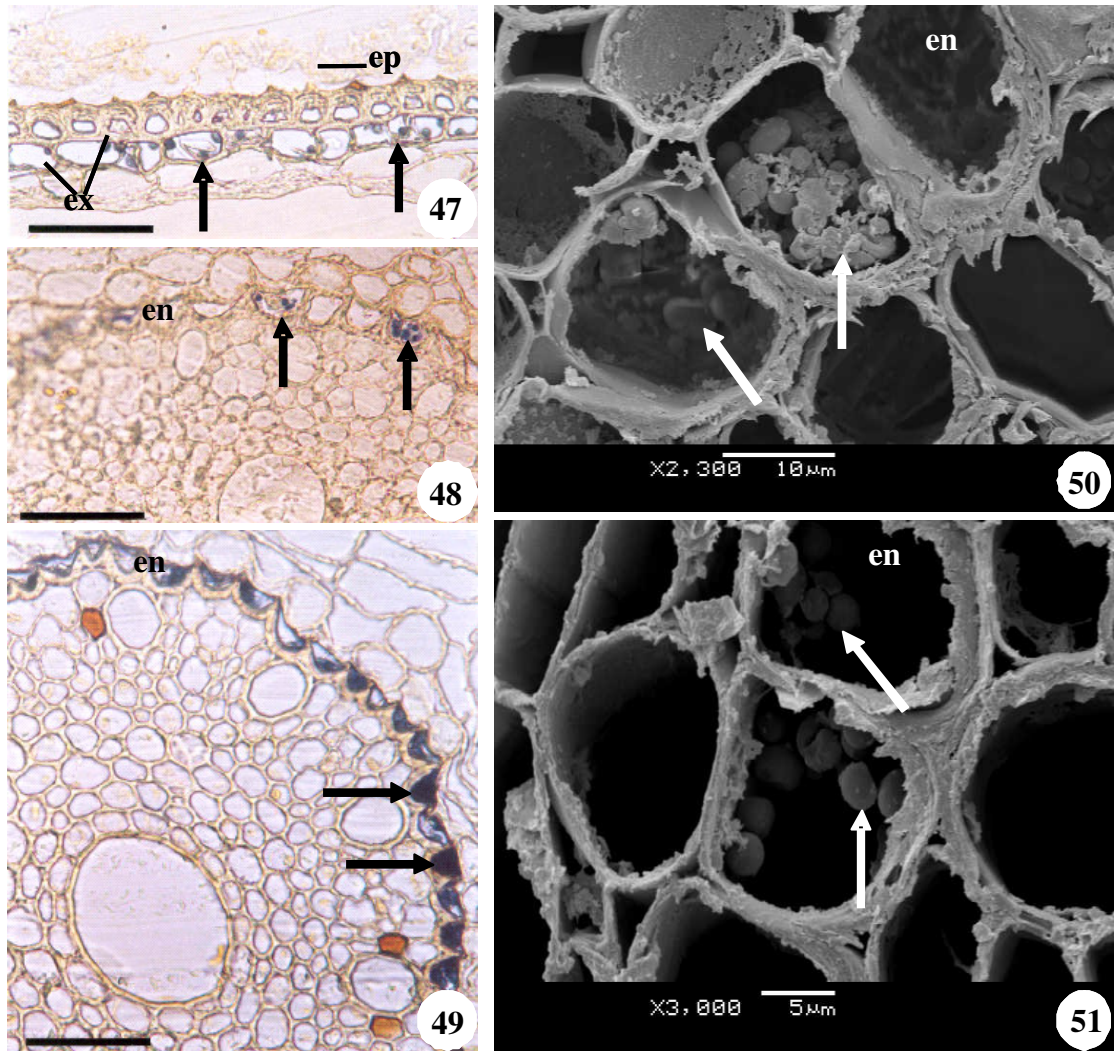
O número dos feixes de protoxilema pode variar entre as espécies de Cyperaceae e depende do diâmetro do cilindro vascular, podendo ocorrer de 6 a 12 nas diferentes espécies de *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972), 5 a 6 em *Scirpus* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997), 7 a 12 em *Courtoisina* (VOSTER, 1996) e 6 a 15 em *Remirea maritima* (ESTELITA, 1993). Entretanto, foi registrado para *Rhynchospora corymbosa* a presença de mais de 15 desses elementos. Já o número de elementos do metaxilema parece ser mais ou menos constante, geralmente um, como observado em *Fimbristylis* (SHARMA; MEHRA, 1972), em *Scirpus deserticola* (PONESSA; TORRES; BENÍTEZ, 1997) e *Courtoisina* (VOSTER, 1996). Entretanto, podem ocorrer exceções como as observadas por PONESSA; TORRES e BENÍTEZ (1997) para *S. acaulis*, onde ocorrem 6 elementos de metaxilema e por ESTELITA (1993) para *R. marítima*, onde foram observadas raízes com dois e oito elementos.

OLIVEIRA (2004) não observou diferenças na disposição de tecidos, danos celulares na estrutura da raiz e nem indício de petróleo no sistema vascular de *Schinus terebinthifolius*. MAYER (2004) encontrou resultado semelhante no experimento com *Campomanesia xanthocarpha*, mas observou um aumento no número de elementos de vaso do xilema no tratamento com solo contaminado, o que pode se entendido como uma estratégia da planta para resolver o problema da deficiência hídrica causado pela presença de petróleo aderido às raízes.

As pesquisas no campo da poluição ocasionada por acidentes com derramamentos de petróleo em áreas continentais ainda são escassos, principalmente as quais analisam os efeitos do petróleo na morfologia e anatomia de espécies vegetais, especialmente as herbáceas, já que as mesmas possuem um ciclo de vida curto quando comparado ao das espécies arbóreas. Nesse sentido, mais trabalhos que analisem tais características, tornam-se necessários para entender como as plantas respondem ao estresse causado pela poluição do solo por petróleo e quais espécies podem ser utilizadas para recuperar áreas atingidas por acidentes desse tipo.



Figuras 39 a 46. Secções transversais da raiz de *Rhynchospora corymbosa*. 39, 42, 43 e 45 planta em solo não contaminado por petróleo. 40, 41, 44, e 46 planta em solo contaminado. 39 e 40- Visão geral (barras = 200 μ m). 41- Detalhe da epiderme e córtex externo (barra = 50 μ m). 42- Detalhe da epiderme e córtex externo (barra = 100 μ m). 43 e 44- Visão geral do cilindro vascular (barras = 100 μ m). 45 e 46- Detalhe do cilindro vascular (barras = 100 μ m). (ar) aerênquima; (ce) córtex externo; (ci) córtex interno; (ep) epiderme; (en) endoderme; (ex) exoderme; (fl) floema; (pe) periciclo; (px) protoxilema; (mx) metaxilema.



Figuras 47 a 51. Seções transversais de raízes de *Rhynchospora corymbosa*. 47, 48 e 50- Raízes de plantas em solo contaminado com petróleo. 49 e 51- Raízes de plantas em solo não contaminado. 47 a 49- Detalhes da epiderme e córtex externo (47) e cilindro e córtex interno (48 e 49) submetidos a testes microquímicos com lugol (barras = 100µm). 50 e 51- Eletromicrografias (MEV). (setas) grãos de amido; (co) córtex externo; (ep) epiderme; (en) endoderme; (ex) exoderme.

5. CONCLUSÕES

Rhynchospora corymbosa apresentou menores valores médios estatisticamente significativos ($p < 0,05$) para o comprimento, largura, peso seco e área foliar em plantas crescendo em solo contaminado por petróleo. Para as demais variáveis quantitativas não foram observadas alterações significativas.

Não foram observados sinais de danos nem tampouco diferenças na disposição e formato das células nas folhas e raízes de *R. corymbosa* em solo contaminado por petróleo, o que indica que esta espécie é uma planta tolerante à contaminação.

As alterações registradas no presente trabalho são entendidas como respostas dos indivíduos de *R. corymbosa* ao solo contaminado por petróleo, já que o mesmo pode ter propiciado uma diminuição na disponibilidade de água por se aderir às raízes. Em decorrência do exposto, *R. corymbosa* parece ser apta a recuperar áreas atingidas por derramamentos de petróleo, já que, no presente trabalho, foi observado que essa espécie recolonizou parte da área afetada pelo acidente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. S.; GIUSTI, P. M.; DOMINGOS, M.; SALDIVA, P. H. N.; GUIMARÃES, E. T.; LOBO, D. J. A. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 567-576, 2001.

ALVES DE BRITO, C.J.F.; ALQUINI, Y. A new method for staining botanical material embeded in glycol methacryate (GMA). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 949-950, 1996.

ARAÚJO, A.C; LONGHI-WAGNER, H.M. Anatomia foliar e micromorfologia do fruto na taxonomia de *Cyperus* L. (Cyperaceae). **Iheringia**, Porto Alegre, v. 48, p. 103-120, 1997.

ARNON, D. I. C. Cooper enzymes in isolated choroplasts. Polyrenol oxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 24, n. 1/4, p. 1-15, 1949.

ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, Oxford, v. 43, n. 4, p. 307-358, 1994.

ASHLEY, P.M.; LOTTERMOSER, B.G. Arsenic contamination at the Mole River Mine, northern New South Wales. **Australian Journal of Earth Sciences**, Carlton, v. 46, n. 6, p. 861-874, 1999.

BÄCK, J.; VANDERKLEIN, D.W.; TOPA, M.A. Effects on elevated ozone on CO₂ uptake and leaf structure in sugar maple under two lights environments. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 137-147, 1999.

BAKER, J.M. The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 1, n. 1, p. 27-44, 1970.

BECH, J.; POSCHENRIEDER, C.; LLUGANY, M.; BARCELÓ, J.; TUNE, P.; TOBIAS, F.J.; BARRANZUELA, J.L.; VÁSQUEZ, E.R. Arsenic and heavy metal contamination of soil and around a copper mine in northern Peru. **Science of the Total Environment**, Shannon, v. 203, n. 1, p. 83-91, 1997.

BECKETT, K.P.; FREER-SMITH, P.H.; TAYLOR, G. Particle pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. **Global Change Biology**, Oxon, v. 6, n. 8, p. 995-1003, 2000.

BERLYN, G. P.; MIKSCH, J. P. **Botanical Microtechnique and Cytochemistry**. Ames: Iowa State University Press, 1976.

BERNTSON, G.M.; RJAKARUNA, N.; BAZZAZ, F.A. Growth and nitrogen uptake in an experimental community of annuals exposed to elevated atmospheric CO₂. **Global Change Biology**, Oxon, v. 4, n. 6, p. 607-626, 1998.

BOEGER, M.R.T. **Morfologia foliar e aspectos nutricionais de espécies arbóreas em três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa das terras baixas, Paranaguá, PR**. Curitiba 2000. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

BONA, C.; MORRETES, B.L. Anatomia das raízes de *Bacopa salzmanii* (BENTH.) Wettst. Ex Edwall e *Bacopa monniroides* (CHAM.) Robinson (Scrophulariaceae) em ambientes aquático e terrestre. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 155-170, 2003.

_____; SANTOS, O.G. **Adaptações morfo-fisiológicas de espécies vegetais crescendo em solo contaminado com petróleo**. Curitiba: FUNPAR-UFPR, 2003. Relatório técnico.

BOUMA, T.J.; NIELSEN, K.L.; EISSENSTAT, D.M.; LYNCH, J.P. Soil CO₂ concentration does not affect growth or respiration in bean or citrus. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 12, p. 1495-1505, 1997.

BRIGHIGNA L., RAVANELLI, M., MINELLI, A.; ERCOLI, L. The use of an epiphyte (*Tillandsia caput-medusae* morren) as Bioindicator of air pollution in Costa Rica. **Science of the Total Environment**, Shannon, v. 198, n. 2, p. 175-180, 1997.

BUJOKAS, W.M. **Impacto da poeira de cimento em *Schinus terebenthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. Curitiba 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

BÜNDCHEN, M. **Respostas morfo-anatômicas e fisiológicas em folhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) sujeitas à poluição urbana**. Curitiba 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

CAÑAS, M.S.; CARRERAS, H.A.; ORELLANA, L.; PIGNATA, M.L. Correlation Between Environmental Conditions and Foliar Chemical Parameters in *Ligustrum lucidum* Ait. Exposed to Urban Air Pollutants. **Journal of Environmental Management**, London, v. 49, n. 2, p. 167-181, 1997.

CARDWELL, A.J.; HAWKER, D.W.; GREENWAY, M. Metal accumulation in macrophytes aquatic from southeast Queensland, Australia. **Chemosphere**, Kidlington, v. 48, n. 7, p. 653-663, 2002.

CARRERAS, H.A.; CAÑAS, M.S.; PIGNATA, M.L. Differences in responses to urban air pollutants by *Ligustrum lucidum* Ait. and *Ligustrum lucidum* Ait. *F. tricolor* (Rehd.) Rehd. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 93, n. 2, p. 211-218, 1996.

CHEN, S.G.; IMPENS, I.; CEULEMANS, R. Modelling the effects of elevated atmospheric CO₂ on crown development, light interception and photosynthesis of poplar in open top chambers. **Global Change Biology**, Oxon, v. 3, n. 2, p. 97-106, 1997.

CHRONOPOULOS, J., HAIDOUTI, C., CHRONOPOULO-SERELI, A.; MASSAS, I. Variations in plant and soil lead cadmium content in urban parks in Athens, Greece. **Science of the Total Environment**, Shannon, v. 196, n. 1, p. 91-98, 1997.

CHUPAKHINA, G. N.; MASLENNIKOV, P. V. Plant adaptation to oil stress. **Russian Journal of Ecology**, Moscou, v. 35, n. 5, p. 290-295, 2004.

COWELL, E.B. The effects of oil pollution on salt-marsh communities in Pembrokeshire and Cornwall. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 6, p. 133-142, 1969.

CRONQUIST, A. **The Evolution and Classification of Flowering Plants**. 2 ed. New York: Columbia University Press, 1988.

DELAUNE, R.D.; PATRICK JR., W.H.; BURESH, R.J. Effect of crude oil on a Louisiana *Spartina alterniflora* salt marsh. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 20, n. 1, p. 21-31, 1979.

DENTON, M.F. Anatomical studies of the Luzulae group of *Cyperus* (Cyperaceae). **Systematic Botany**, Laramie, v. 8, n. 3, 250-262, 1983.

DION, M., LORANGER S., KENNED, Y. G., COURCHESNE, F.; ZAYED, J. Evaluation of black spruce (*Picea mariana*) as a bioindicator of aluminum contamination. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 71, n. 1/2, p. 29-41, 1993.

DOMINGOS, M.; KLUMPP, A.; RINALDI, M.C.S.; MODESTO, I.F.; KLUMPP, G.; DELITTI, W.B.C. Combined effects of air and soil pollution by fluoride emissions on *Tibouchina pulchra* Cogn., at Cubatão, SE Brazil, and their relations with aluminium. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 249, n. 2, p. 297-308, 2003.

DOWTY, R.A.; SHAFFER; G.P.; HESTER, M.W.; CHILDERS, G.W.; CAMPO, F.M.; GREENE, M.C. Phytoremediation of small-scale oil spills in fresh marsh environments: a mesocosm simulation. **Marine Environmental Research**, Kidlington, v. 52, n. 3, p. 195-211, 2001.

- ESTELITA, M.E.M. Anatomia dos órgãos vegetativos de *Remirea maritima* Aubl. (Cyperaceae). **Naturalia**, Rio Claro, v. 18, p. 123-134, 1993.
- ESTELITA-TEIXEIRA, M.E.; HANDRO, W. Kranz pattern in leaf, scape and bract of *Cyperus* and *Fimbristylis* species. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 10, p. 105-111, 1987.
- EVANS, L.S.; ADAMSKI II, J.H.; RENFRO, J.R. Relationship between cellular injury, visible injury of leaves, and ozone exposure levels for several dicotyledonous plant species at great smoky mountains national park. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 36, n. 2, p. 229-237, 1996.
- FEDER, N.; O'BRIAN, T.P. Plant microtechnique: some principles and new methods. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 55, n. 1, p. 123-142, 1968.
- FERDINAND, J.A.; FREDERICKSEN, T. S.; KOUTERICK; K. B.; SKELLY, J. M. Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 108, n. 2, p. 297-302, 2000.
- FERRELL, R.E.; SENECA, E.D.; LINTHRUST, R.A. The effect of crude oil on the growth of *Spartina alterniflora* Loisel. and *Spartina cynosuroides* (L.) Roth. **Journal of Experimental Marine Biology Ecology**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 27-39, 1984.
- FORD, B.A.; BALL, P.W. The taxonomy of the Circumpolar short-beaked taxa of *Carex* sect. *Versicariae* (Cyperaceae). **Systematic Botany**, Laramie, v. 17, n. 4, p. 620-639, 1992.
- FRANZARING, J.; TONNEIJCK, A.E.G.; KOUIJMAN, A.W.N.; DUECK, TH.A. Growth responses to ozone in plants species from wetlands. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 39-48, 2000.
- GILFILLAN, E.S.; PAGE, D.S.; BASS, A.E.; FOSTER, J.C.; FICKETT, P.M.; ELLIS, W.G.H.; RUSK, S.; BROWN, C. Use of Na/K ratios in leaf tissues to determine effects of petroleum on salt exclusion in marine halophytes. **Marine Pollution Bulletin**, Kidlington, v. 20, n. 6, p. 272-276, 1989.
- GIVNISH, T.J. Comparative studies of leaf form: assessing the relative roles of selective pressures and phylogenetic constraints. **New Phytologist**, Cambridge, v. 106, n. 1, p. 131-160, 1987.
- GÖRANSSON, A. Steady-state nutrition and growth responses of *Betula pendula* to different relative supply rates of copper. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 21, n. 9, p. 937- 944, 1998.

GRATANI, L.; CRESCENTE, M.F.; PETRUZZI, M. Relationship between leaf life-span and photosynthetic activity of *Quercus ilex* in polluted urban areas (Rome). **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 110, n. 1, p. 19-28, 2000.

GREEN, B.T.; WIBERG, C.T; WOODRUFF, J.L.; MILLER, E.W.; POAGE, V.L.; CHILDRESS, D.M.; FEULNER, J.A.; FROSHC, S.A.; RUNKEL, J.A.; WANDERSCHIED, D.M.; WIERMA, M.D.; YANG, X.; CHOE, H.T. & MERCURIO, S.D. Phytotoxicity observed in *Tradescantia* correlates with diesel fuel contamination in soil. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 313-321, 1996.

GUAGLIONE, E.R. Contribución al estudio del género *Rhynchospora* (Cyperaceae) V. sección Longirostres en América Austral. **Darwiniana**, San Isidro, v. 39, n. 3/4, p. 287-342, 2001.

HAO, X.; HALE, A.; ORMOROD, D.P. The effects of ultraviolet-B radiation and carbon dioxide on growth and photosynthesis of tomato. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 75, n. 1, p. 213-219, 1997.

HESTER, M.W.; MENDELSSOHN, I.A. Long-term recovery of a Louisiana brackish marsh plant community from oil-spill impact: vegetation response and mitigation effects of marsh surface elevation. **Marine Environmental Research**, Kidlington, v. 49, n. 3, p. 339-347, 2000.

HUSSEIN, H. S.; TERRY, N. Phytomonitoring the unique colonization of oil-contaminated saline environment by *Limoniastrum monopetalum* (L.) Boiss in Egypt. **Environment International**, New York, v. 28, n. 1/2, p. 127-135, 2002.

JACKSON, M.B.; ARMSTRONG, W. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 1, n. 3, p. 274-287, 1999.

JENSEN, W. A. **Botanical Histochemistry, Principles and Practice**. San Francisco: W. H. Freeman, 1962.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1940.

JOHNSON, B.T.; ROMANENKO, V.I. A multiple testing approach for hazard evaluation of complex mixtures in the aquatic environment: the use of diesel oil as a model. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 58, n. 2/3, p. 221-235, 1989.

JUSTIN, S.H.F.W.; ARMSTRONG, W. The anatomical characteristics of roots and plant response to soil flooding. **New Phytologist**, Cambridge, v. 106, n. 3, p. 465-495, 1987.

- KAWASE, M.; WHITMOYER, RE. Aerenchyma development in waterlogged plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 67, n. 1, p. 18-22, 1980
- KE, L.; WONG, T.W.Y.; WONG, Y.S.; TAM, N.F.Y. Fate of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) contamination in a mangrove swamp in Hong Kong following an oil spill. **Marine Pollution Bulletin**, Kidlington, v. 45, n. 1/12, p. 339-347, 2002.
- KELLOMÄKI, S.; WANG, K.Y. Effects of elevated O₃ and CO₂ concentrations on photosynthesis and stomatal conductance in Scots pine. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 7, p. 995-1006, 1997.
- KLUMPP, A., KLUMPP, G.; DOMINGOS, M. Plants as bioindicators of air pollution at the Serra Do Mar near the industrial complex of Cubatao, Brazil. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 85, n. 1, p. 109-116, 1994.
- KLUMPP, G., FURLAN, C. M., DOMINGOS, M.; KLUMPP, A. S. Responses of stress indicators and growth parameters of *Tibouchina pulchra* Cogn. exposed to air and soil pollution near the industrial complex of Cubatão, Brazil. **Science of the Total Environment**, Shannon, v. 246, n. 1, p. 79-91, 2000.
- KUHN, W.; GAMBINO, R.; AL-AWADHI, N.; BALBA, M.T.; DRAGUN, J. Growth of tomato plants in soil contaminated with Kuwait crude oil. **Journal of Soil Contamination**, Boca Raton, v. 7, n. 6, p. 801-806, 1998.
- LAAN, P.; BERREVOETS, M.J.; LYTHER, S.; ARMSTRONG, W.; BLOM, C.W.P.M. Root morphology and aerenchyma formation as indicators of the flood-tolerance of *Rumex* species. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 693-703, 1989.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000.
- LIN, Q.; MENDELSSOHN, I.A. A comparative investigation of the effects of South Louisiana crude oil on the vegetation of fresh, brackish and salt marshes. **Marine Pollution Bulletin**, Kidlington, v. 32, n. 2, p. 202-209, 1996.
- _____; MENDELSSOHN, I.A. The combined effects of phytoremediation and biostimulation in enhancing habitat restoration and oil degradation of petroleum contaminated wetlands. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 263-274, 1998.

LIN, Q.; MENDESSOHN, I.A.; SUIDAN, M.T.; LEE, K.; VENOSA, A.D. The dose-response relationship between N^o. 2 fuel oil and the growth of the salt marsh grass, *Spartina Alterniflora*. **Marine Pollution Bulletin**, Kidlington, v. 44, n. 9, p. 897-902, 2002.

LLAMAS, F.; ACEDO, C.; ANDRÉS, J.; CARBÓ, R.; PÉREZ, M.A.; PENAS, A. Anatomía de las especies Europeas de *Carex* L. sect. *Unciniformes* Kük. (Cyperaceae). **Anales Jardín Botánico de Madrid**, Madrid, v. 51, n. 1, p. 97-109, 1993.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 3 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000.

MACNAIR, M.R. Within and between population genetic variation for zinc accumulation in *Arabidopsis halleri*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 155, n. 1, p. 59-66, 2002.

MALALLAH, G.; AFZAL, M.; GULSHAN, S.; KURIAN, M.; DHAMI, M. S. I. *Vicia faba* as a bioindicator of oil pollution. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 92, n. 2, p. 213-217, 1996.

_____; AFZAL, M.; KURIAN, M.; GULSHAN, S.; DHAMI, M.S.I. Impact of oil pollution on some desert plants. **Environment International**, New York, v. 24, n. 8, p. 919-924, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MANDRE, M.; TUULMETS, L. Pigment changes in Norway spruce induced by dust pollution. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 94, n. 3/4, p. 247-258, 1997.

MARTINS, J.M. **Aspectos estruturais de *Cladium mariscus* (L.) Pohl (Cyperaceae) submetida a dois ambientes distintos**. Curitiba 2002. 57 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

MAYER, J.L.S. **Impacto do solo contaminado com petróleo no crescimento e desenvolvimento de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (Myrtaceae)**. Curitiba 2004. 82 f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

MCKEE, I.F.; BULLIMORE, J.F.; LONG, S.P. Will elevated CO₂ concentrations protect the yield of wheat from O₃ damage? **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 77-84, 1997.

MENDELSSOHN, I.A.; MCKEE, K.L. *Spartina alterniflora* dieback in Louisiana: time-course investigation of soil waterlogging effects. **Journal of Ecology**, Oxford, v.76, n. 2, p. 509-521, 1988.

MENDELSSOHN, I.A.; HESTER, M.W.; SASSER, C.; FISCHER, M. The effect of Louisiana crude oil discharge from a pipeline break on the vegetation of a southeast Louisiana brackish marsh. **Oil and Chemical Pollution**, Oxon, v. 7, n. 1, p. 1-15, 1990.

MENGONI, A.; GONNELLI, C.; GALARDI, F.; GABBRIELLI, R.; BAZZICALUPO, M. Genetic diversity and heavy metal tolerance in populations of *Silene paradoxa* L. (Caryophyllaceae): a random amplified polymorphic DNA analysis. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 9, n. 9, p. 1319-1324, 2000.

MEHRA, P.N.; SHARMA, O.P. Epidermal silica cells in the Cyperaceae. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 126, n. 1, p. 53-58, 1965.

METCALFE, C.R. Anatomy as an aid to classifying the Cyperaceae. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 56, n. 7, p. 782-790, 1969.

_____. **Anatomy of the Monocotyledons: Cyperaceae**. Oxford, Clarendon Press, 1971.

MUASYA, A.M. A synopsis of *Fuirena* (Cyperaceae) for the flora of Tropical east Africa. **Kew Bulletin**, Kew, v. 53, n. 1, p. 187-202, 1997.

MULHOLLAND, B.J.; CRAIGON, J.; BLACK, C.R.; COLLS, J.J.; ATHERTON, J.; LANDON, G. Impact of elevated atmospheric CO₂ and O₃ on gas exchange and chlorophyll content in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 48, n. 315, p. 1853-1863, 1997.

_____; CRAIGON, J.; BLACK, C.R.; COLLS, J.J.; ATHERTON, J.; LANDON, G. Effects of elevated CO₂ and O₃ on the rate and duration of grain growth and harvest index in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Global Change Biology**, Oxon, v. 4, n. 6, p. 627-635, 1998a.

MULHOLLAND, B.J.; CRAIGON, J.; BLACK, C.R.; COLLS, J.J.; ATHERTON, J.; LANDON, G. Growth, light interception and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under elevated CO₂ and O₃ in open-top chambers. **Global Change Biology**, Oxon, v. 4, n. 2, p. 121-130, 1998b.

NICOLOTTI, G.; EGLI, S. Soil contamination by crude oil: impact on the mycorrhizosphere and on the revegetation potential of forest trees. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 99, n. 1, p. 37-43, 1998.

- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N.; MCCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, Viena, v. 59, n. 2, p. 368-373, 1965.
- OLAJIRE, A. A.; AYODELE, E. T. Contamination of roadside soil and grass with heavy metals. **Environment International**, New York, v. 23, n. 1, p. 91-101, 1997.
- OLIVEIRA, L.S. **Influência do solo contaminado com petróleo na morfologia e fisiologia de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. Curitiba 2004. 63 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- PÄÄKKÖNEN, E.; GÜNTHARDT-GOERG, M.S.; HOLOPAINEN, T. Responses of leaf processes in a sensitive birch (*Betula pendula* Roth) clone to ozone combined with drought. **Annals of Botany**, London, v. 82, n. 1, p. 49-59, 1998.
- PEZESHKI, S.R.; DELAUNE, R.D.; PATRICCK-JR., W.H. Effect of fluctuating rhizosphere redox potential on carbon assimilation of *Spartina alterniflora*. **Oecologia**, New York, v. 80, n. 1, p. 132-135, 1989.
- _____; DELAUNE, R.D. Effect of crude-oil on gas-exchange functions of *Juncus roemerianus* e *Spartina alterniflora*. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 68, n. 3/4, p. 461-468, 1993.
- _____; HESTER, M.W.; LIN Q.; NYMAN, J.A. The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 108, n. 2, p. 129-139, 2000.
- PONESSA, G.; TORRES, M.; BENÍTEZ, L. Estudio taxonómico de *Scirpus* sección *Monocephales* (Cyperaceae) en Tucumán, República Argentina. **Lilloa**, San Miguel de Tucuman, v. 39, n. 1, p. 5-30, 1997.
- POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas aquáticas do Pantanal**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000.
- PROFFITT, C. E., DEVLIN, D. J.; LINDSEY, M. Effects of oil on mangrove seedlings grow under different environmental conditions. **Marine Pollution Bulletin**, Kidlington, v. 30, n. 12, p. 788-793, 1995.
- PURVIS, M. J.; COLLIER, D. C.; WALLS, D. **Laboratory Techniques in Botany**. London: Butterworths, 1964.
- RACINE, C.H. Long-term recovery of vegetation on two experimental crude oil spills in interior Alaska black spruce taiga. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 72, n. 8, p. 1171-1177, 1994.

RAJBHANDARI, K.R.; OHBA, H. Epidermal microstructures of the leaf, prophyll and nut in the Himalayan species of *Kobresia* (Cyperaceae). **Botanical Magazine of Tokyo**, Tokyo, v. 101, n. 1062, p. 185-202, 1988.

REICHENAUER, T.; BOLHÁR-NORDENKAMPF, H.R.; EHRLICH, U.; SOJA, G.; POSTL, W.F.; HALBWACHS, F. The influence of ambient and elevated ozone concentrations on photosynthesis in *Populus nigra*. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 8, p. 1061-1069, 1997.

ROBERTS, S.W.; OECHEL, W.C.; BRYANT, P.J.; HASTINGS, S.J.; MAJOR, J.; NOSOV, V. A field fumigation system for elevated carbon dioxide exposure in chaparral shrubs. **Functional Ecology**, Oxford, v. 12, n. 4, p. 708-719, 1998.

SAARELA, J.M.; FORD, B.A. Taxonomy of the *Carex backii* complex (section *Phyllostachyae*, Cyperaceae). **Systematic Botany**, Laramie, v. 26, n. 4, p. 704-721, 2001.

SAMECKA-CYMERMAN, A.; KEMPERS, A.J. Concentrations of heavy metals and plant nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of anthropogenic lakes (former open cut brown coal mines) differing in stage of acidification. **Science of the Total Environment**, Shannon, v. 281, n. 1/3, p. 87-98, 2001.

SASS, J. E. **Botanical Microtechnique**. 2 ed. Ames: The Iowa State College Press, 1951.

SCHENK, U.; JÄGER, H.J.; WEIGEL, H.J. The response of perennial ryegrass/white clover mini-swards to elevated atmospheric CO₂ concentrations: effects on yield and fodder quality. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 52, n. 3, p. 232-241, 1997.

SEMACHECHEN, T.R. **Modificações morfo-fisiológicas de *Baccharis dracunculifolia* DC (Asteraceae), crescendo em solo contaminado com petróleo**. Curitiba, 2004. Relatório técnico.

SHARMA, O.P.; MEHRA, P.N. Systematic anatomy of *Fimbristylis* Vahl (Cyperaceae). **Botanical Gazette**, Chicago, v. 133, n. 2, p. 87-95, 1972.

SHEPERD, G.J. The use of anatomical characters in the infrageneric classification of *Carex* (Cyperaceae). **Hoehnea**, São Paulo, v. 6, p. 33-54, 1976.

SIMON, L.; MARTIN, H. W.; ADRIANO, D. C. Chicory (*Cichorium intybus* L.) and dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) as phytoindicators of cadmium contamination. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 91, n. 3/4, p. 351-362, 1996.

SMITH, C.J.; DELAUNE, R.D. E PATRICK JR., W.H. A Method for determining stress in wetland plant communities following an oil spill. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 26, n. 4, p. 297-304, 1981.

SMITH, C.J.; DELAUNE, R.D.; PATRICK-JR.W.H.; FLEEGER, J.W. Impact of dispersed and undispersed oil entering a Gulf Coast salt marsh. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Pensacola, v. 3, n. 4, p. 609-616, 1984.

SMITH, J.L.; BURRIT, D.J.; BANNISTER, P. Shoot weight, chlorophyll and UV-B-absorbing compounds as indicators of a plant's sensitivity to UV -B radiation. **Annals of Botany**, London, v. 86, n. 6, p. 1057-1063, 2000.

SODA, C.; BUSSOTTI, F.; GROSSONI, P.; BARNES, J.; MORI, B.; TANI, C. Impacts of urban levels of ozone on *Pinus halepensis* foliage. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 69-82, 2000.

STANDLEY, L.A. Anatomical and chromosomal studies of *Carex* section Phacocystis in eastern of North America. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 148, n. 3, p. 507-518, 1987a.

_____ Anatomical studies of *Carex cuchumatensis*, *C. decidua*, and *C. hermannii* (Cyperaceae) and comparisons with North American taxa of the *C. acuta* complex. **Brittonia**, New York, v. 39, n. 1, p. 11-19, 1987b.

STOLTZ, E.; GREGER, M. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 47, n. 3, p. 271-280, 2002.

SUPRAYOGI, B.; MURRAY, F. A field experiment of the physical and chemical effects of two oils on mangroves. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 801-806, 1999.

SZYMANOWSKA, A.; SAMECKA-CYMERMAN, A.; KEMPERS A. J. Heavy Metals in Three Lakes in West Poland. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Orlando, v. 43, n. 1, p. 21-29, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TATE, K.R.; ROSS, D.J. Elevated CO₂ and moisture on soil carbon storage and cycling in temperate grasslands. **Global Change Biology**, Oxon, v. 3, n. 3, p. 225-235, 1999.

TOIVONEN, H.; TIMONEN, T. Perigynium and achene epidermis in some species of *Carex* subgenus *Vignea* (Cyperaceae), studied by scanning electron microscopy. **Annales Botanici Fennici**, Helsinki, v. 13, p. 49-59, 1976.

UENO, O.; KOYAMA, T. Distribution and evolution of C₄ syndrome in *Rhynchospora* (Rhynchosporaeae-Cyperaceae). **Botanical Magazine of Tokyo**, Tokyo, v. 100, n. 1057, p. 63-85, 1987.

_____; TAKEDA, T.; MAEDA, E. Leaf ultrastructure of C₄ species possessing different Kranz anatomical types in the Cyperaceae. **Botanical Magazine of Tokyo**, Tokyo, v. 101, n. 1062, p. 141-152, 1988.

VALKAMA, J.; KOZLOV, M.V. Impact of climatic factors on the developmental stability of mountain birch growing in a contaminated area. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 38, n. 3, p. 665–673, 2001.

VOSTER, P. Justification for generic status of *Courtoisina* Cyperaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 121, n. 3, p. 271-280, 1996.

YUNUS, M.; AHMAD, K.J.; GALE, R. Air-pollutants and epidermal traits in *Ricinus communis* L. **Environmental Pollution**, Kidlington, v. 20, n. 3, p. 189-198, 1979.

WARWICK, K.R.; TAYLOR, G.; BLUM, H. Biomass and compositional changes occur chalk grassland turves exposed to elevated CO₂ for two seasons in FACE. **Global Change Biology**, Oxon, v. 4, n. 4, p. 375-385, 1998.

WITKOWSKI, E.T.F.; LAMONT, B.B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, Berlin, v. 88, n. 4, p. 486-493, 1991.

WOOLHOUSE, H.W. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. **In: LANGE, et al. Encyclopedia of plant physiology – responses to the chemical and Biological Environment**. V. 12. Berlin: Springer, 1983. p. 245-300.

ZHENG, Y.; LYONS, T.; BARNES, J. Effects of ozone on the production and utilization of assimilates in *Plantago major*. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 171-180, 2000.