

JULIANA LISCHKA SAMPAIO MAYER

Impacto do solo contaminado com petróleo no crescimento e desenvolvimento de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae)

Monografia apresentada ao Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra Cleusa Bona  
Co-orientador: Prof. M.Sc. Gedir de Oliveira Santos

CURITIBA

2004

*DEDICO ESTE TRABALHO AOS MEUS  
DOIS GRANDES AMORES MARCELO E  
ISABELA*

## AGRADECIMENTOS

À Professora Cleusa Bona pela dedicação e incentivo durante a orientação deste trabalho, e também pelas várias "viagens" até o experimento de campo.

À mestranda Liege da Silva Oliveira, pela amizade e companheirismo.

Ao Professor Henrique Soares Koehler pela imprescindível ajuda na análise estatística.

À Professora Graciela Munhoz pela simpatia e pela autorização da utilização do Laboratório de Anatomia da Madeira.

Ao biólogo Nilson, técnico responsável pelo Laboratório de Microtécnica do Departamento de Botânica, pela amizade e inúmeras ajudas.

À REPAR que viabilizou a realização deste trabalho, com o auxílio financeiro e liberação para a utilização de área de campo.

Ao Departamento de Botânica, pelos Laboratórios cedidos.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE ANEXOS .....	vii
RESUMO .....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	3
2.1 <i>Campomanesia xanthocarpa</i> .....	3
2.2 NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS .....	3
2.2.1 Macronutrientes .....	4
2.2.2 Micronutrientes .....	5
2.3 FITORREMEDIAÇÃO .....	6
2.4 POLUIÇÃO POR PETRÓLEO .....	8
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	10
3.1 MATERIAL BOTÂNICO .....	10
3.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM ESTUFA .....	10
3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM CAMPO .....	11
3.4 ANÁLISE DE CRESCIMENTO .....	11
3.5 ANÁLISE MORFO-ANATÔMICA .....	13
3.6 ANÁLISE QUÍMICA .....	14
3.7 ANÁLISE DE CLOROFILA .....	15
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
4.1 EXPERIMENTO EM ESTUFA .....	16
4.1.1 Morfologia e Crescimento .....	16
4.1.2 Anatomia Foliar .....	19
4.1.3 Anatomia Caulinar .....	23
4.1.4 Anatomia Radicular .....	23
4.1.5 Testes Microquímicos .....	26
4.1.5.1 Amido .....	26
4.1.5.2 Compostos fenólicos .....	26
4.2 EXPERIMENTO DE CAMPO .....	32
4.2.1 Morfologia e Crescimento .....	32
4.2.2 Anatomia Foliar, Caulinar e Radicular .....	35
4.2.3 Testes Microquímicos .....	35
4.2.3.1 Amido .....	35
4.2.3.2 Compostos fenólicos .....	42
4.3 ANÁLISE DE CLOROFILA .....	42
4.3.1 Experimento em estufa .....	42
4.3.2 Experimento de campo .....	45
4.4 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO E DAS FOLHAS .....	46
4.4.1 Experimento em estufa .....	46
4.4.2 Experimento de campo .....	48
5 CONCLUSÃO .....	50
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS .....	52
ANEXOS .....	56

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Mapa com a localização das áreas do experimento de campo na região da REPAR-PR.....	12
FIGURA 2	- Plantas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> crescidas em diferentes tratamentos em experimento de estufa com quatro meses e um ano de experimento.....	17
FIGURA 3	- Indivíduos de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> após um ano em experimento de estufa e detalhe do sistema radicular.....	20
FIGURA 4	- Secções transversais de nervura central da folha de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	21
FIGURA 5	- Secções transversais do limbo da folha de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	22
FIGURA 6	- Secções transversais de caule de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	24
FIGURA 7	- Secções transversais de raiz de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	25
FIGURA 8	- Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais de caule de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	28
FIGURA 9	- Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais de raiz de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	29
FIGURA 10	- Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de caule de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	30
FIGURA 11	- Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de raiz de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	31
FIGURA 12	- Plantas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> crescidas nas diferentes áreas em experimento de estufa e detalhe de raiz.....	33
FIGURA 13	- Secções transversais de nervura central da folha de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	36
FIGURA 14	- Secções transversais do limbo da folha de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	37
FIGURA 15	- Secções transversais de caule de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	38
FIGURA 16	- Secções transversais de raiz de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	39
FIGURA 17	- Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais de caule de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	40
FIGURA 18	- Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais de raiz de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	41
FIGURA 19	- Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de caule de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	43
FIGURA 20	- Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de raiz de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	44

## LISTA DE TABELAS

TABELA	1 - Constituição básica do Petróleo.....	9
TABELA	2 - Dados de diferentes análises de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	18
TABELA	3 - Dados de diferentes análises de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	34
TABELA	4 - Análise de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total nas folhas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	42
TABELA	5 - Análise de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total nas folhas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	45
TABELA	6 - Análise química do solo e das folhas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de estufa.....	46
TABELA	7 - Análise química do solo e das folhas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> em experimento de campo.....	47

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO	1 - Análise estatística do experimento de estufa.....	57
ANEXO	2 - Análise estatística do experimento de campo.....	68

## RESUMO

Acidentes ecológicos envolvendo petróleo e seus derivados vêm ocorrendo com frequência no Brasil. O petróleo é constituído basicamente por óleo, compostos orgânicos e metais pesados. A espécie *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (guabiroba) foi selecionada para esse estudo por ocorrer naturalmente no local do acidente e pela sua importância ecológica na dispersão de sementes pela avifauna. O presente trabalho foi desenvolvido com os objetivos de verificar as possíveis alterações morfofisiológicas causadas pelo petróleo na espécie *Campomanesia xanthocarpa* cultivada em solo contaminado com petróleo e qual o efeito da adubação no desenvolvimento nas mudas. Tanto o experimento de campo como o de estufa consistiam em quatro tratamentos com oito repetições cada. O experimento de campo foi conduzido por um ano e três meses, com as seguintes áreas: em solo contaminado sem nenhum tipo de tratamento, chamadas de 2C e 3C e duas áreas controle em solo não contaminado, chamadas de 2NC e 3NC. O experimento em estufa foi conduzido por um ano, contendo os seguintes tratamentos: solo não contaminado (NC), não contaminado adubado (NCA), contaminado (C) e contaminado adubado (CA). As mudas, de mesma idade, foram fornecidas pela Embrapa Florestas de Colombo-PR e pelo Horto Municipal de Curitiba-PR. Tanto as plantas do experimento de estufa como o de campo apresentaram diferenças nas estruturas anatômicas e na deposição dos metabólitos como amido e compostos fenólicos, na espessura foliar e no índice estomático entre as plantas do solo contaminado e não contaminado. No entanto, essas diferenças, durante o período do experimento, parecem não afetar o desenvolvimento da espécie em solo contaminado. Portanto, pelos resultados obtidos pode-se indicar *C. xanthocarpa* como uma espécie apta para recompor áreas contaminadas por petróleo, por demonstrar tolerância a este tipo de contaminação.

Palavras-chave: Guabiroba; poluição; anatomia; morfologia; fisiologia.



## 1 INTRODUÇÃO

Em 16 de julho de 2000 ocorreu um grande acidente ambiental tendo como consequência o vazamento de 4 milhões de litros de petróleo na Refinaria Getúlio Vargas (REPAR) localizada no município de Araucária, causando um grande impacto negativo sobre os componentes bióticos da área.

Após esse derramamento, já ocorreram, somente no Brasil, outros doze vazamentos relevantes de petróleo e seus derivados, em Cubatão, nos rios Atuba e Paçaúna que são afluentes do rio Iguaçu, na Fazenda Nacional de Ipanema em Iperó que é administrada pelo Ibama, em Morretes-PR, na Baía de Guanabara-RJ, em Caraúbas-RN, três vazamentos em Angra dos Reis-RJ e duas vezes na Bacia de Campos-RJ (BUSCA, 2002).

Atualmente, estão disponíveis vários métodos para minimizar os efeitos negativos da contaminação do solo; entre eles estão os métodos químicos e mecânicos. Por esses métodos o óleo é removido fisicamente ou pode ser concentrado com materiais absorventes. Porém, com a utilização dos mesmos corre-se o risco de danos mecânicos durante sua remoção. Portanto, existe a necessidade de técnicas que reduzam impactos adversos do óleo sem causar impactos adicionais que afetem os ecossistemas adjacentes (PEZESHKI *et al.*, 2000). Os processos de remediação que possuem um menor risco de danos mecânicos ao local contaminado são os processos de biorremediação, como a fitorremediação e a inoculação de microorganismos.

Fitorremediação é o nome dado para um conjunto de tecnologias de limpeza, "cleanup" ambiental que utilizam a vegetação para aumentar a dissipação ou estabilização de contaminantes ambientais (KULAKOW, 2000).

Segundo SOUZA (1999) a fitorremediação destaca-se pela capacidade de degradação dos contaminantes e da absorção de metais pesados pela rizosfera. De acordo com GATLIFF (1994) a fitorremediação é indicada pois o método não utiliza biofiltros nem projetos de biodegradação, mas sim a capacidade da própria natureza de inativar os contaminantes e assim se recompor. Outras vantagens da fitorremediação citadas por CUNNINGRAM *et al.* (1996), são o fácil manuseio e monitoramento das plantas e o custo financeiro muito abaixo do custo de um tratamento por inoculação de microorganismos.

Segundo SOUZA (1999), nos processos de fitorremediação, a fitodescontaminação faz com que ocorra a diminuição da concentração do poluente até níveis aceitáveis. Os processos que podem ser utilizados para esse propósito são: a fitoextração, a fitovolatização, a fitodegradação e a rizodegradação. As plantas podem apresentar diferentes graus de sensibilidade aos efeitos prejudiciais da poluição, algumas são sensíveis e outras são tolerantes, as tolerantes permanecem em seus habitats podendo ser utilizadas para fitorremediação (MALALLAH *et al.*, 1995).

SOUZA (1999) em sua dissertação sobre a revegetação de área de biorremediação contaminada por resíduos de petróleo utilizou várias espécies nativas. Entre as quais a espécie *Campomanesia xanthocarpa* que apresentou os maiores incrementos periódicos em altura e em sobrevivência, cerca de 80%, nas áreas contaminadas. Com esses resultados o autor concluiu que essa espécie possui potencial para revegetação de áreas contaminadas com resíduos oleosos.

A espécie *Campomanesia xanthocarpa* faz parte do projeto maior que inclui outras seis espécies nativas

Esse trabalho propôs analisar as alterações fisiológicas e morfo-anatômicas de mudas de *Campomanesia xanthocarpa*, crescendo em solo contaminado e não contaminado por petróleo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 *Campomanesia xanthocarpa*

A espécie *C. xanthocarpa* pertencente a família Myrtaceae, segundo CRONQUIST (1988), é uma planta decídua, mesófito até heliófito e seletivo higrófito. Anualmente produz grande quantidade de sementes que são disseminadas pela avifauna (LORENZI, 1992). É uma planta conhecida vulgarmente por guabiroba ou gabirobeira, ocorre nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país (LORENZI, 1992). No Paraná essa espécie é observada na Floresta Ombrófila Mista, sendo menos freqüente na Floresta Ombrófila Densa da encosta atlântica do Sul do Brasil (LANDRUM, 1986; LORENZI, 1992).

BARROSO (1984) descreve essa família como portadora de inúmeros canais oleíferos, presentes na forma de pequenos pontos translúcidos que podem aparecer tanto nas folhas, flores, frutos e sementes. O gênero *Campomanesia* é constituído por 26 espécies, sendo 24 descritas no Brasil (MARCHIORI e SOBRAL, 1997).

### 2.2 NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

Nutrientes são elementos essenciais para o crescimento e produção de biomassa das plantas. Esses elementos são obtidos pelas plantas diretamente do solo e são classificados em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são representados por N, P, K, Ca, Mg e S. e os micronutrientes por Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl. e Ni. Os nutrientes juntamente com a luz, temperatura, ar, água e solo atuam sobre o crescimento das plantas. A absorção dos íons pela raiz ocorre quando esses entram em contato com a sua superfície externa, a eficiência dessa absorção depende da dimensão da área superficial da raiz e da superfície específica das partículas do solo. Os nutrientes metálicos fazem ligações iônicas que podem exercer fortes influências no estado de hidratação dos colóides orgânicos. Sendo assim, a concentração dos íons metálicos na célula têm importância fundamental na atividade enzimática, pois o bom funcionamento dessas depende do estado de hidratação (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

### 2.2.1. Macronutrientes

O nitrogênio (N) após ser absorvido é incorporado a compostos orgânicos combinado ao C, H e O formando aminoácidos, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcalóides e outros. A concentração de N nas plantas cultivadas varia de  $10 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $50 \text{ g.kg}^{-1}$  de matéria seca (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

O fósforo (P) está presente em baixas concentrações no solo nas formas aniônicas da dissociação do ácido fosfórico. A dinâmica do P no solo é muito complexa e além disso existem diferenças entre as espécies vegetais em aproveitá-lo. Plantas com crescimento lento e sistemas radiculares muito desenvolvidos aproveitam melhor os teores de P disponíveis no solo. As funções do P na planta podem ser divididas em estruturais, energéticas, de reserva e como um tampão no suco celular. Uma baixa concentração de P na planta pode inibir a enzima ADPglicopirofosforilase inibindo a produção de amido nos cloroplastos. A concentração de P nas plantas cultivadas varia de  $1 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $5 \text{ g.kg}^{-1}$  de matéria seca (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

O potássio (K) possui uma importante função na regulação osmótica e iônica e, desse modo, atua na manutenção da pressão de turgescência das células e na abertura e fechamento dos estômatos. O K também age como cofator de enzimas do metabolismo protéico e de carboidratos. A concentração de K nas plantas cultivadas varia de  $10 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $50 \text{ g.kg}^{-1}$  de matéria seca (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002). Porém, o K também possui papel antagônico na aquisição de alguns nutrientes como por exemplo o ferro. Esse efeito antagônico do potássio pode levar a uma elevação da tolerância ao ferro (LI et al., 2001).

O cálcio (Ca) atua na manutenção da integridade celular e da permeabilidade da membrana, na germinação do grão de pólen, na atividade de enzimas relacionadas à mitose, divisão e alongamento celular e tem um efeito neutralizador dos excessos de metais pesados nas plantas. Plantas deficientes em Ca podem apresentar raízes menos desenvolvidas. Em solos ácidos ricos em alumínio os sintomas de deficiência de Ca podem ser mascarados pelos sintomas de toxidez por alumínio. A concentração de Ca nas plantas cultivadas varia geralmente de  $3 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $30 \text{ g.kg}^{-1}$  de matéria seca (MALAVOLTA, 1980; WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

O magnésio (Mg) tem sua absorção pela planta dependente do teor de umidade do solo e da concentração de outros cátions, pois altos teores de potássio reduzem a sua absorção. O Mg é um dos componentes da molécula de clorofila ocupando o centro do núcleo porfirínico e funciona como cofator da maioria das enzimas fosforilativas. A concentração de Mg nas plantas cultivadas varia de 1,5 g.kg<sup>-1</sup> a 10 g.kg<sup>-1</sup> de matéria seca, sendo comum encontrar 2,5 g.kg<sup>-1</sup> de matéria seca para o tecido foliar (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

## 2.2.2 Micronutrientes

O cobre (Cu) está presente em baixa concentração no solo, porém com a diminuição do pH sua disponibilidade é elevada. O Cu participa como constituinte da plastocianina, proteína do cloroplasto, no processo fotossintético. Outras funções são a lignificação da parede celular, metabolismo de proteínas, carboidratos e fixação simbiótica do nitrogênio. A concentração de Cu nas plantas cultivadas varia de 3 mg.kg<sup>-1</sup> a 7 mg.kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MALAVOLTA, 1980; WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

O ferro (Fe) participa na síntese de clorofila e de proteínas e influencia o crescimento apical das raízes. A concentração de Fe nas plantas cultivadas varia de 10 mg.kg<sup>-1</sup> a 1000 mg.kg<sup>-1</sup> de matéria seca, sendo mais comum a variação de 50 mg.kg<sup>-1</sup> a 70 mg.kg<sup>-1</sup> de (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002). A toxidez pelo Fe gera plantas pouco desenvolvidas apresentando raízes escuras devido ao recobrimento por óxido de ferro reduzido. A absorção excessiva de ferro pela planta pode provocar um toxidez direta, ou indireta pela inibição da absorção de outros nutrientes. Estando a concentração de ferro adequada, ele é absorvido e translocado para as folhas em crescimento. Porém, se a concentração estiver elevada e exceder a capacidade de oxidação pelas raízes, o ferro irá se depositar nas folhas mais velhas (PASSOS e RUIZ, 1997).

O manganês (Mn) tem sua disponibilidade aumentada com o decréscimo do pH e com a alta atividade microbiana. Esse elemento está envolvido no processo de óxido-redução no sistema fotossintético de transporte de elétrons. A concentração de Mn nas plantas cultivadas varia geralmente de 10 mg.kg<sup>-1</sup> a 50 mg.kg<sup>-1</sup> de matéria seca (WACHOWICZ e CARVALHO, 2002). A toxidez por manganês é comum em

solos ácidos e ela induz a deficiência de ferro seguida por pontuações nos tecidos condutores como consequência dos depósitos de óxidos de Mn.

O zinco (Zn) também tem sua disponibilidade aumentada com o decréscimo do pH. Entre o Zn e o Cu existe uma competição, pois quando o suprimento de Zn sobe o teor de Cu no tecido da planta cai significativamente, e ainda a absorção de Fe e seu transporte para a parte aérea são inibidos. A concentração de Zn nas plantas cultivadas varia geralmente de 15 mg.kg<sup>-1</sup> a 50 mg.kg<sup>-1</sup> de matéria seca (MALAVOLTA, 1980; WACHOWICZ e CARVALHO, 2002).

### 2.3.FITORREMEDIAÇÃO

Plantas podem apresentar alta especialização que envolve a capacidade de tolerar e acumular altas concentrações de metais provenientes do solo, possibilitando a remediação de um local contaminado. Espécies hiperacumuladoras tem sido encontradas contendo mais de 10 000 mg Kg<sup>-1</sup> Zn e mais de 100 mg Kg<sup>-1</sup> Cd (BAKER et al., 1989, BROWN et al., 1994).

De acordo com Hansen e Tjell (1983)<sup>1</sup> citado por MORENO (1996) a absorção de metais pesados pelas plantas é influenciada pelas características do solo, como a quantidade de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, pH e pelas características das próprias plantas. A fitorremediação pode ser facilitada pelo baixo pH, pois ele aumenta a solubilidade dos metais, facilitando a absorção desses pelas plantas e assim diminuindo suas concentrações no solo (BROWN et al., 1994).

Os metais pesados, como o Zn e o Cu, e metalóides, como o Mn, quando liberados no ambiente podem provocar problemas a longo prazo pois eles se acumulam nos organismos e assim percorrem as cadeias tróficas. Além disso,

---

<sup>1</sup> HANSEN, J. A.; TJELL, J. C. Sludge application to land-overview of the cadmium problem. *Environmental Effects of Organic and Inorganic Contaminants in Sewage Sludge*, p. 91-113. 1983.

permanecem nos ecossistemas em concentrações perigosas por um longo período no sedimento. A absorção de metais pesados pelas células, principalmente da raiz, é facilitada pelos próprios mecanismos de transporte e acumulação, pois vários desses elementos são necessários às plantas como micronutrientes. A toxicidade associada a esses metais deve-se à sua interferência no transporte eletrônico da respiração e da fotossíntese e à inativação de enzimas vitais. Como consequência tem-se um baixo nível energético com a diminuição no crescimento e na absorção dos nutrientes minerais. No entanto, certas espécies vegetais são capazes de crescer sobre ambientes contaminados, pois desenvolveram mecanismos de desintoxicação, como redução da absorção, imobilização de íons tóxicos nas paredes celulares, quelação no citoplasma, compartimentalização, formação de complexos com ácidos orgânicos e inorgânicos, derivados de fenol e glicosídeos no vacúolo e retranslocação. Uma maior tolerância pode ser desenvolvida quanto maior for a exposição da planta a um certo elemento. Organismos bioindicadores sensíveis a poluição como um fator gerador de estresse podem responder por meio de alterações dos seus processos vitais ou pela acumulação do poluente. Indicadores acumuladores de poluentes são capazes de armazenar grandes quantidades de substância nociva sem sofrer injúrias (LARCHER, 2000).

O aumento da atividade industrial, mineração, utilização de fertilizantes, pesticidas e lixos industriais e urbanos tem despejado grandes quantidades de níquel no ambiente (ALLOWAY, 1990<sup>2</sup> apud ZORNOZA, 1999). Concentrações elevadas de níquel causam uma depressão nos níveis de clorofila nas folhas, isso ocorre porque há a inibição da incorporação de Mg na molécula de protoporfirina, a qual é precursora da clorofila, porém se a concentração de níquel for intermediária os níveis de clorofila podem não variar. Também pode surgir pigmentação preta nas folhas velhas devido a acumulação de compostos fenólicos (RAUSER, 1978; PANDOLFINI et al., 1992; PIICCINI e MALAVOLTA, 1992;).

Metais pesados como o cádmio inibem fortemente o crescimento da raiz principal, mas o mesmo não é observado em raízes laterais (IVANOV, 1994;

---

<sup>2</sup> ALLOWAY, B. The origins of heavy metals in soils. *Heavy metals in soils*. Ed. B. J. Alloway. New York, p. 29-39. 1990.

SEREGIN e IVANOV, 1997). O alumínio também afeta o crescimento das raízes, pois é preferencialmente acumulado nas zonas meristemáticas e de alongação das raízes. Isso induz a depressão mitótica e divisões aberrantes das células, inibindo o crescimento da zona de alongação (CLARKSON, 1965; ROY et al., 1988). A toxicidade ao alumínio é um problema normalmente relacionado a solos ácidos com  $\text{pH} \leq 5,0$ , os quais representam um fator limitante de crescimento para as plantas (FOY et al., 1978; ANIOL, 1990). O alumínio compromete as células da raiz, membranas plasmáticas e enzimas causando danos estruturais e funcionais, resultando na inibição da alongação das raízes e na absorção de água (CHANG et al, 1999).

## 2.4. POLUIÇÃO POR PETRÓLEO

O petróleo apresenta uma composição variável pois existem vários tipos de petróleo. Basicamente o petróleo é constituído por óleo, compostos orgânicos e metais pesados (MIELNICZUK, 1991). Os componentes presente em maior proporção são os hidrocarbonetos e compostos polares. Os compostos polares possuem moléculas de N, S e O adicionados ao carbono e hidrogênio. Os hidrocarbonetos constituem-se de cadeias saturadas formando alcanos e compostos cíclicos (SOUZA, 1999).

Tabela 1: Composição básica do Petróleo (% em peso).

Carbono	83 a 87
Hidrogênio	11 a 14
Enxofre	0,06 a 8
Nitrogênio	0,11 a 1,7
Oxigênio	0,5
Metais*	0,3

\* Ferro, Zinco, chumbo, níquel, vanádio, entre outros.

Os estudos sobre poluição com óleo e seus derivados são freqüentes em regiões marinhas (CHIAVENATO, 1989). Os danos estudados são aqueles causados pelo contato direto da planta com o óleo cru, demonstrando dados como



inibição da assimilação de CO<sub>2</sub> nas folhas, clorose, dessecação, necrose e abscisão foliar (GOUDEY et al. 1985). Porém são escassos os estudos do impacto do óleo em regiões continentais, bem como seus efeitos a médio e longo prazo.

BURNS *et al.* (2000), afirma que a ação de microorganismos é essencial para a degradação dos hidrocarbonetos presentes no petróleo. E esses microorganismos são aeróbios e dependem da aeração do sedimento para sobreviver. Ainda segundo os autores as árvores são vitais para manter a integridade de uma floresta pois elas propiciam habitat para organismos escavadores, os quais juntamente com o sistema radicular propiciam uma natural oxigenação do substrato.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL BOTÂNICO

O experimento foi conduzido em estufa no Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná, e em campo na Refinaria Getúlio Vargas no município de Araucária-PR. As mudas de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg utilizadas no experimento de estufa foram produzidas pela Embrapa, sendo semeadas em setembro de 2001. E as mudas para utilização no campo foram fornecidas pelo Horto Municipal de Curitiba-PR, sendo que foram semeadas em maio de 2001.

#### 3.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM ESTUFA

Para montagem do experimento em estufa foi coletado solo contaminado da área do acidente e solo não contaminado numa área próxima ao acidente da Repar Araucária-Paraná. Esse solo foi transferido para estufa no Departamento de Botânica do Setor de Ciências Biológicas da UFPR. O solo foi peneirado, homogeneizado e posteriormente foram separadas amostras para análise, visando conhecer as características químicas e físicas de cada solo.

O experimento se constituiu de 4 tratamentos x 8 repetições totalizando 32 indivíduos. Os tratamentos foram: solo contaminado sem adição de nutrientes (C); solo contaminado com adição de nutrientes (CAD); solo não contaminado sem adição de nutrientes (NC) e solo não contaminado com adição de nutrientes (NCAD). O solo contaminado foi coletado numa profundidade de 20 a 30 cm das parcelas números 4 e 5 localizadas na Petrobrás. O solo não contaminado foi coletado próximo a essas área (Fig 1). Com base na análise dos solos contaminado e não contaminado, definiu-se as doses recomendadas de fornecimento de potássio (0,416g), na forma de KCL, e de fósforo (4,16), na forma de Mape. Os adubos foram adicionados e homogeneizados aos tratamentos CAD e NCAD. As mudas foram

plantadas em sacos plásticos de 5 litros, sendo que os sacos plásticos com solo contaminado continham 5,6 Kg de solo e os com solo não contaminado continham 4,86 Kg de solo. O acompanhamento das mudas em estufa com nebulização foi de 1 ano com 1 avaliação no final do experimento, quando se fez uma coleta total das plantas.

### 3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM CAMPO

Para montagem desse experimento foram definidas quatro áreas na região da Repar em Araucária-PR; duas em solo contaminado sem nenhum tipo de tratamento, chamadas de 2C e 3C e duas controle em solo não contaminado, chamadas de 2NC e 3NC. Essas áreas foram demarcadas e isoladas com tela plástica (Fig. 1).

Em cada área (2NC, 2C, 3NC e 3C) foram plantadas 8 mudas aleatoriamente, sendo cada muda identificada com um código.

Cada área apresentou uma medida própria devido a irregularidade do terreno. A área 2C com 37,5m<sup>2</sup>, 2NC com 64,6m<sup>2</sup>, 3C com 89m<sup>2</sup> e a 3NC com 22m<sup>2</sup>. As áreas 2C e 2NC eram duas áreas próximas que possuíam características físicas semelhantes, como pouco sombreamento e solo relativamente úmido. Porém, as áreas 3C e 3NC possuíam características distintas, a área 3C era muito úmida ficando próxima ao rio, enquanto que a área 3NC era seca e muito sombreada.

### 3.4 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

O acompanhamento das mudas foi mensal por um período de 1 ano para estufa e de 1 ano e 3 meses para experimento de campo. Ao final do experimento foi feita uma coleta de todas as plantas para as análises.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas foram analisados através das técnicas de CHIARIELLO *et al.* (1989). Para a análise do crescimento foram efetuadas medidas da altura e diâmetro do caule das plantas em campo e em

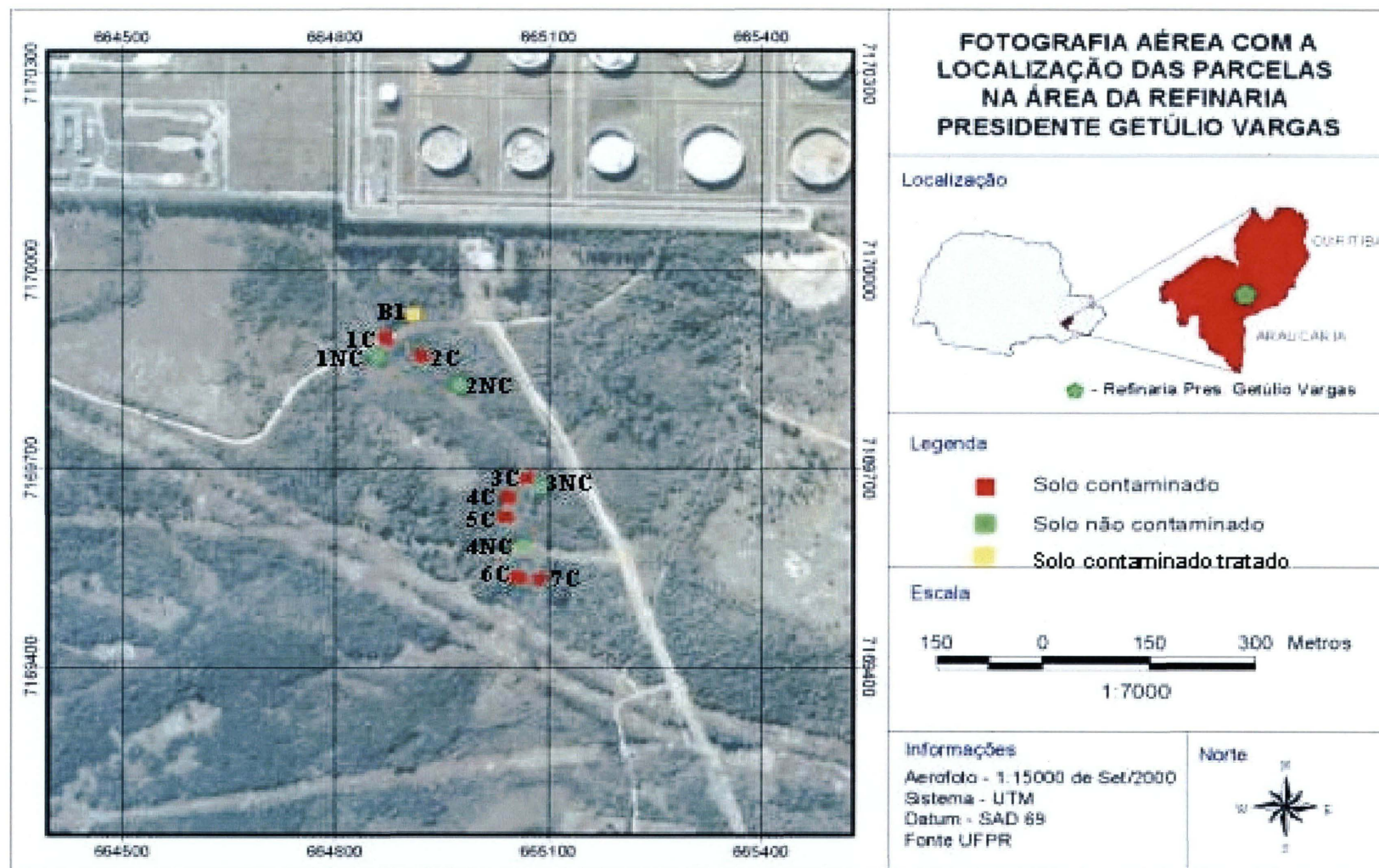


Figura 1: Mapa da área da Refinaria Getúlio Vargas (Repar) localizada no município de Araucária.

estufa. A medida da altura foi realizada da base do caule até a gema apical, e a medida do diâmetro do caule foi realizada sempre no mesmo local, ou seja, o local foi marcado mensalmente com esmalte colorido na base do caule.

### 3.5 ANÁLISE MORFO-ANATÔMICA

Para o estudo morfológico foram coletadas 5 folhas de cada um dos 8 indivíduos de cada área. Essas foram prensadas em papel jornal e desidratadas em estufa a 70 C por cerca de 48 horas para posterior mensuração e pesagem. A área foliar foi estimada através do programa Sigma-pro Versão 2.1 com imagem escaneada das folhas. Através da área foliar e do peso seco foi determinada a área específica foliar (AEF) através da fórmula:  $AEF = \text{área do limbo (cm}^2\text{)} / \text{peso seco (g)}$ , proposta por WITKOWSKI e LAMONT (1991).

Para a análise anatômica qualitativa foram coletadas amostras de folha, caule e raiz de três indivíduos por área ou experimento. Foram coletadas folhas adultas a partir do 2° ou 3° nó, contando-se do ápice para a base do caule, a partir da gema apical. As amostras de caule foram coletadas na região do 2° entrenó, e as de raiz a partir de 1cm do ápice, e nas regiões mais velhas, priorizando-se as raízes laterais.

A fixação das amostras foi feita em FAA 70 (JOHANSEN, 1940) e posteriormente conservadas em álcool 70%. As observações anatômicas da folha foram feitas na região mediana do limbo. As análises foram feitas através de lâminas semipermanentes e permanentes onde foram empregadas técnicas de coloração (FOSTER, 1949; SASS, 1951; ROTH, 1964; FELDER e O'BRIEN, 1968) e testes microquímicos, com lugol e cloreto férrico (JOHANSEN, 1940).

Os materiais destinados a preparação de lâminas permanentes foram emblocados em historresina (GMA-glicol metacrilato), segundo a técnica de FELDER e O'BRIEN (1968). Os blocos foram seccionados em micrótomo rotatório, e os cortes foram obtidos com 7 $\mu$ m de espessura e corados com fucsina básica e azul de astra (ALVES DE BRITO e ALQUINI, 1996). As lâminas foram montadas com resina sintética (Permalte®).

A densidade estomática foi avaliada nos 8 indivíduos de cada tratamento do experimento de estufa, em 5 folhas por indivíduo. A contagem foi feita através da

impressão digital das folhas desidratadas, nas quais foram passadas 3 camadas de esmalte incolor, que após seco foi retirado e montado em lâminas com água. A contagem estomática foi realizada com projeção de imagem através de câmara clara, utilizando-se a objetiva de 40X. A imagem foi projetada sobre um quadrado de 8 cm de lado, correspondendo a 200  $\mu\text{m}$  de superfície foliar. Foram efetuadas 5 contagens para cada folha totalizando 1  $\text{mm}^2$  de área foliar. Os estômatos que foram projetados sobre as margens do quadrado foram contados aos pares como se fossem um.

Para mensurar a espessura do limbo foliar foram realizados cortes, a mão livre com auxílio de navalha e de isopor, do terço médio do limbo do material fixado, e as lâminas montadas com água. Para a mensuração dos cortes foi utilizada uma ocular micrometrada, em objetiva de 40X, sendo os valores obtidos posteriormente multiplicados pelo coeficiente de correção.

A análise macroscópica foi feita na estufa e no campo observando se existem alterações morfológicas nas folhas como coloração das folhas, predação e parasitismo.

### 3.6 ANÁLISE QUÍMICA

Para a análise química foram coletadas todas as folhas de seis plantas de cada um dos tratamentos da estufa e das áreas 2C e 2NC do campo. Posteriormente, foram lavadas por duas vezes em água destilada, duas vezes para retirar as impurezas e em seguida secaram em estufa a 70°C por 48 horas. Após secas, as folhas foram trituradas e misturadas duas a duas formando três amostras para cada tratamento, contendo no mínimo 2g de material triturado.

Essas amostras foram digeridas em ácido sulfúrico (LINDNER, 1944) para determinar o nitrogênio total e a quantificação pelo método colorimétrico de Nessler (HAWK, 1947). A partir da digestão nitro-perclorica foi possível a determinação do fósforo total (LINDERMAN, 1958) e do potássio total (CHESNIN e YIEN, 1950). As análises químicas e de rotina do solo foram efetuadas pelo laboratório de Nutrição Mineral do Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias da UFPR.

### 3.7 ANÁLISE DE CLOROFILA

Para extração e quantificação da clorofila foi coletada 1 folha madura de cada um dos 8 indivíduos tanto do experimento de estufa como do experimento de campo. As folhas foram acondicionadas em papel alumínio numa caixa de isopor com gelo, ficando ao abrigo da luz e calor. Em seguida o material foi levado ao laboratório, e foi utilizada uma amostra da região mediana de cada folha, retirando-se a nervura central, a qual foi pesada antes da extração. A extração foi efetuada com Acetona 80%, segundo a técnica de ARNON (1949) e a quantificação dos pigmentos foi feito pelo espectrofotômetro modelo U-2001 da marca Hitachi®.

### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados obtidos foram analisados estatisticamente. Primeiramente, foram verificadas se as variâncias dos tratamentos eram homogêneas ao nível de 95% de probabilidade pelo teste de Bartlett. Posteriormente, foi efetuada a análise de variância para observar se havia diferenças estatísticas entre as médias testadas ao nível de 99% de probabilidade. E por fim, foi efetuada a comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Os dados do experimento de estufa foram analisados comparando os quatro tratamentos entre eles. Já os dados do experimento de campo foram analisados separadamente comparando a área 2NC com a área 2C e a área 3NC com a área 3C.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EXPERIMENTO EM ESTUFA

#### 4.1.1 Morfologia e crescimento

Nos primeiros meses de instalação do experimento, foi observado que os indivíduos cultivados em solo contaminado tiveram retardo de crescimento em relação aos cultivados em solo não contaminado (Fig. 2 a - d). Também foi observado neste período que os indivíduos cultivados em solo contaminado (Fig 2d) apresentaram folhagem amarelada quando comparadas ao verde escuro dos indivíduos cultivados em solo não contaminado (Fig. 2c). Entretanto, ao final do experimento, os indivíduos dos quatro tratamentos, foram se igualando ao ponto de não apresentarem diferença estatística em relação à altura e diâmetro (Tabela 2, Fig. 2 e - h).

Em relação à área foliar e peso foliar, as plantas do tratamento CAD apresentaram as menores médias, porém observando o peso foliar total e área foliar total não houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos (Tabela 2). Essa compensação ocorreu devido ao aumento da espessura foliar e também da presença de uma maior quantidade de folhas por planta.

Os menores valores de peso seco total e peso seco da raiz no tratamento NC provavelmente foram provocados por esse solo ser pobre nos macronutrientes N, P e K (Tabela 6), justificando a necessidade da adição desses nutrientes com a adubação.

No solo contaminado por petróleo observou-se a existência de uma película oleosa sobre raiz, a qual provavelmente dificultou a absorção de água. Essa diminuição na disponibilidade de água provavelmente simulou um ambiente xerofítico, e provocou uma maior espessura foliar, menor área foliar e maior densidade estomática (Tabela 2). De acordo com LARCHER (2000) essas modificações são estratégias morfológicas para reduzir a perda de água, as quais ele define como uma adaptação modulativa. Portanto, a planta quando sob o estresse do solo contaminado por petróleo se adaptou através de alterações morfológicas e reverteu esse problema.



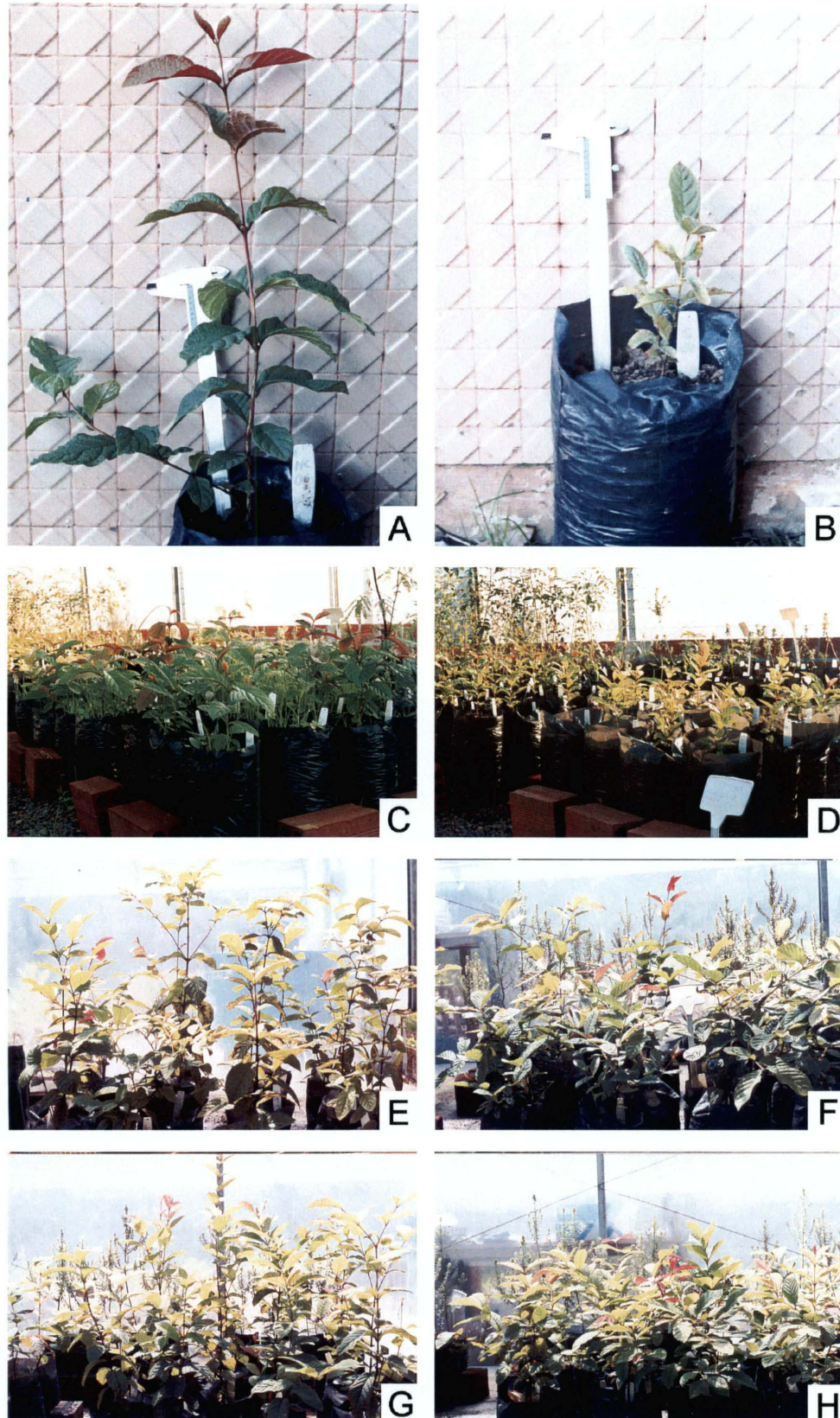


Figura 2: Mudanças de *Campomanesia xanthocarpa* crescendo em solo não contaminado e solo contaminado com petróleo em experimento de estufa; A - D. Quatro meses de experimento; A. Solo não contaminado; B. Solo contaminado, C. Solo não contaminado; D. Solo contaminado; E - H. Um ano de experimento; E. Solo não contaminado; F. Solo contaminado; G. Solo não contaminado adubado; H. Solo contaminado adubado.

TABELA 2 - DADOS DE ANÁLISE DE ÁREA FOLIAR (40 FOLHAS POR TRATAMENTO), PESO FOLIAR (40 FOLHAS POR TRATAMENTO), PESO FOLIAR TOTAL, ÁREA FOLIAR TOTAL, PESO SECO TOTAL (FOLHAS+CAULE+RAIZ), PESO SECO AÉREO/RAIZ, PESO SECO RAIZ, DIFERENÇA DIÂMETRO DO CAULE, DIFERENÇA ALTURA, ESPESSURA FOLIAR E CONTAGEM DE ESTÔMATOS NO EXPERIMENTO EM ESTUFA.

Tratamentos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso foliar (g)	Peso Foliar Total (g)	Área Foliar Total (cm <sup>2</sup> )	Peso Seco Total (g)	Peso seco Aéreo/raiz	Peso seco raiz (g)	Diâmetro do Caule (Df-Di) (mm)	Altura do Caule (Af-Ai) (cm)	Espessura foliar (µm)	Contagem estômatos (n°/mm <sup>2</sup> )
CAD	23,717 b	0,160 b	5,924 a	901,690 a	21,14a	1,293 a	8,83b	6,0750 a	40,325 a	141,08a	9,13a
C	34,920 a	0,259 a	5,896 a	793,204 a	22,92a	1,216 a	10,83a	5,790 a	45,625 a	128,02a	9,9a
NCAD	30,554 a	0,229 a	5,194 a	693,163 a	26,61a	0,849 a	15,00a	6,460 a	51,888 a	122,23b	8,34a
NC	32,007 a	0,216 a	4,240 a	658,702 a	17,60b	1,117 a	8,74b	4,997 a	43,513 a	120,70b	6,86b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

(CAD) solo contaminado com adubo, (C) solo contaminado, (NCAD) solo não contaminado com adubo, (NC) solo não contaminado, (Df) diâmetro final, (Di) diâmetro inicial, (Af) altura final, (Ai) altura inicial.

Em relação à morfologia da raiz foi observado que os indivíduos cultivados em solo contaminado sem adubo não apresentavam uma raiz principal (Fig. 3c e 3g), mas ramificações superficiais, fato que não ocorreu com as plantas do solo contaminado com adubo (Fig. 3d e 3h), as quais desenvolveram raiz principal parecida com as dos indivíduos dos tratamentos não contaminados (Fig. 3 a - b e 3 e - f). Apesar dessa diferença morfológica, não houve diferença estatística na proporção entre peso seco parte aérea (caule mais folhas) e peso seco das raízes (Tabela 2). Segundo LARCHER (2000) uma possível razão para as raízes do solo contaminado crescerem próximas a superfície do substrato é para facilitar a obtenção de oxigênio pois este solo é fracamente arejado. Porém, isso não explicaria o porquê das plantas do solo contaminado e com adubo apresentarem uma raiz principal desenvolvida, pois esse solo sendo contaminado também seria pouco oxigenado. Esse fato evidencia que o fornecimento de adubo favoreceu o crescimento normal das raízes.

Durante todo o período do experimento as plantas dos quatro tratamentos sofreram o ataque de uma mosca conhecida vulgarmente como mosca branca. Esta parasita se encontrava sempre na face abaxial das folhas maduras em todos os seus estágios de desenvolvimento, larva, pupa e indivíduos adultos. Foram utilizados métodos de combate a esta mosca, inseticidas e água de fumo, mas elas se mostraram resistentes reaparecendo após alguns dias.

#### 4.1.2 Anatomia Foliar

A folha em secção transversal apresenta um único estrato epidérmico em ambas as faces. Apresenta mesofilo dorsiventral com um a dois estratos celulares de parênquima paliçádico e três a quatro estratos celulares de parênquima lacunoso, concordando com o observado por GOUVÊA (2001) para essa mesma espécie. Glândulas oleíferas ocorrem em toda a extensão do mesofilo (Fig. 4 a - d e 5 a - d), o que é uma característica da família segundo MACVAUGH (1963). O conteúdo dessas glândulas, de acordo com FAHN (1979), pode ser constituído por óleos, fenóis, mucilagem para essa espécie. A nervura principal é saliente na face abaxial e seu sistema vascular é constituído por um feixe bicolateral envolto por bainha esclerenquimática (Fig. 4 a - d). Os estômatos se encontram presentes somente na

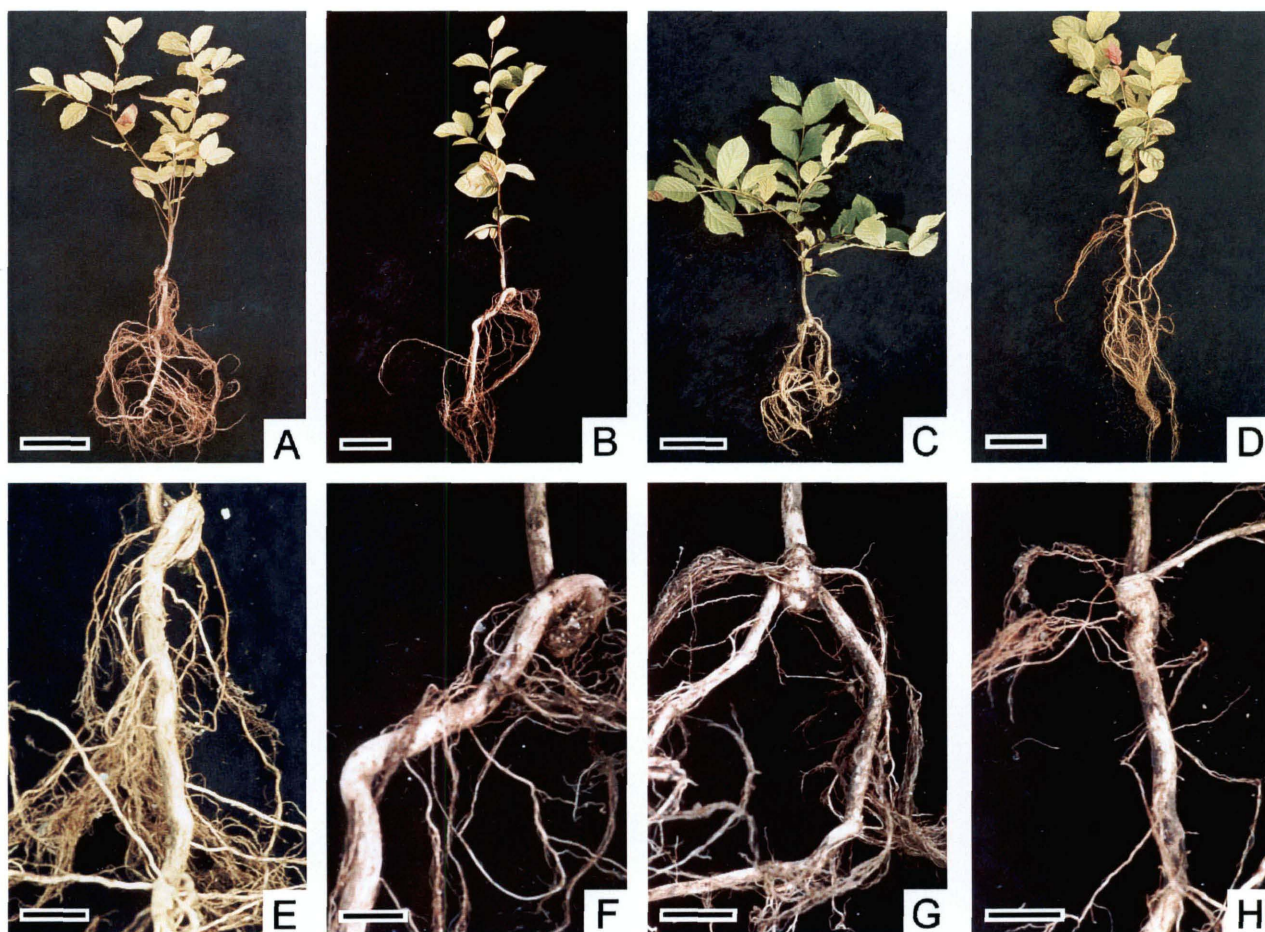


Figura 3: Indivíduos de *Campomanesia xanthocarpa* após um ano em experimento de estufa e detalhe do sistema radicular; A, E. solo não contaminado; B, F. solo não contaminado adubado; C, G. solo contaminado; D, H. solo contaminado adubado. A - D. escala = 10 cm; E - H. escala = 2,5 cm.

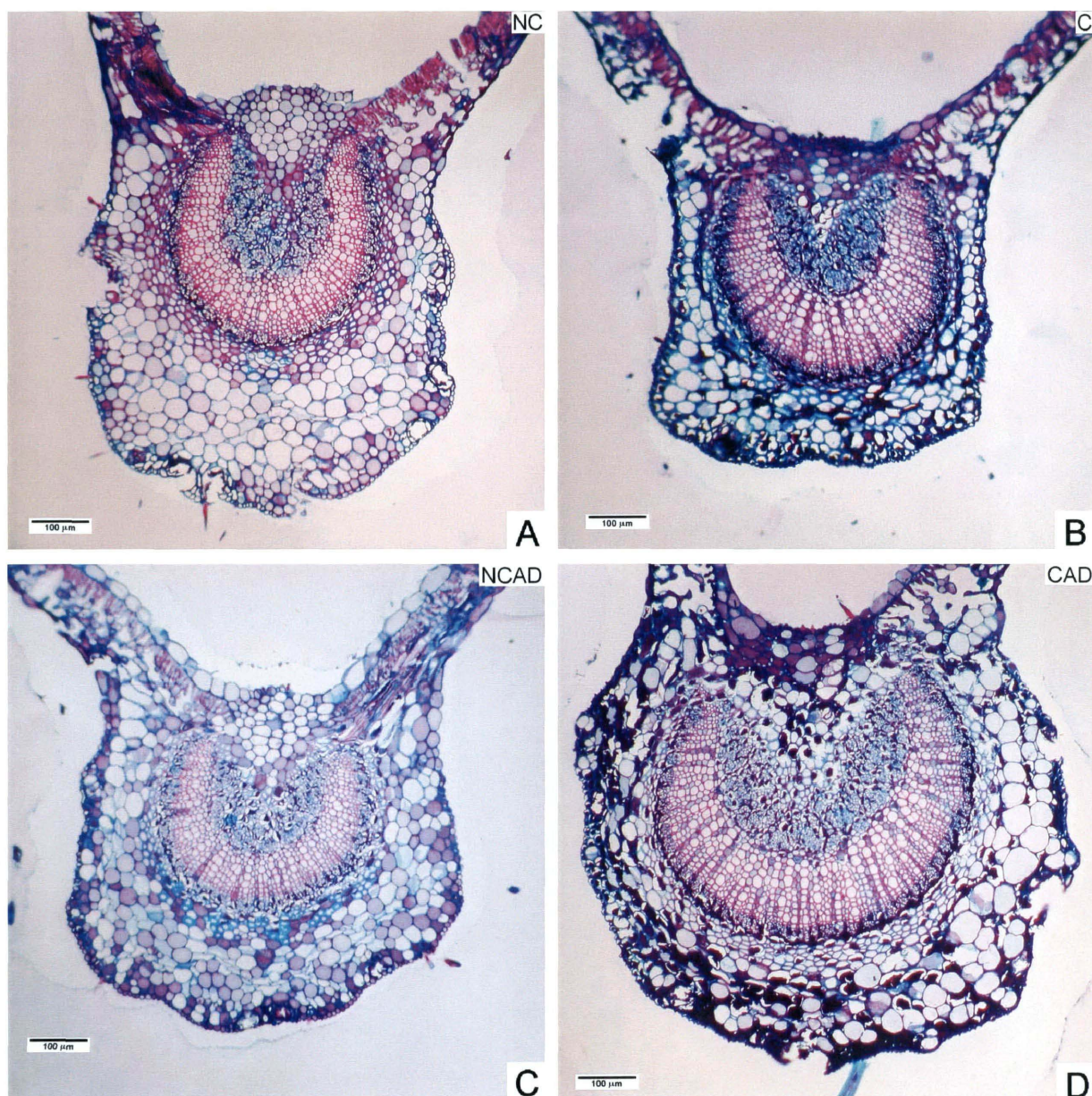


Figura 4: Secções transversais da nervura central de folha de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD).

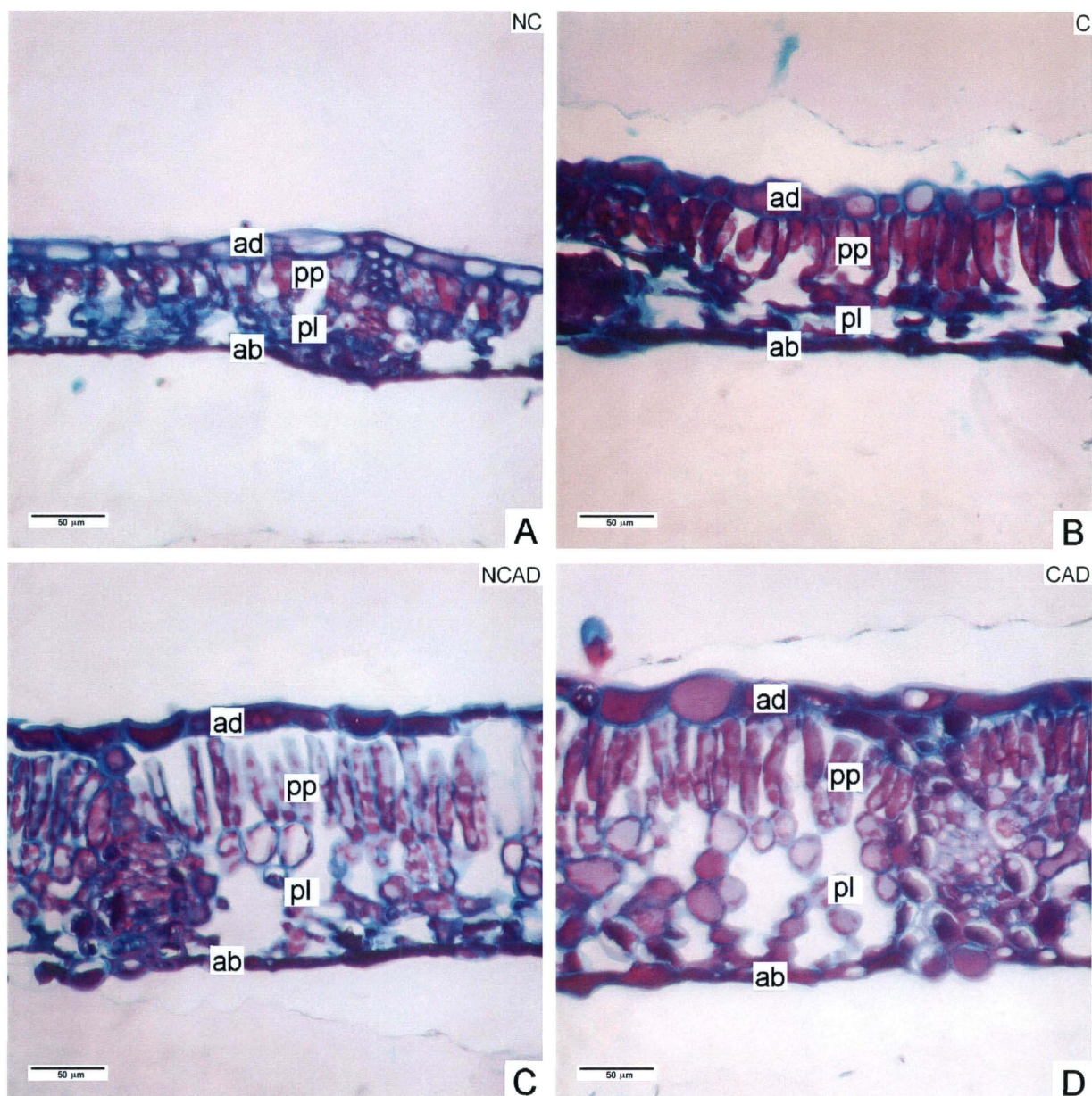


Figura 5: Secções transversais do limbo da folha de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD). (ad) epiderme adaxial, (pp) parênquima paliçadico, (pl) parênquima lacunoso, (ab) epiderme abaxial.

face abaxial das folhas caracterizando a folha como hipoestomática. Observou-se alterações no formato de células do mesofilo e no número de camadas celulares, sendo que as folhas dos tratamentos com a adição de adubo apresentam células de parênquima paliçádico mais longas e maior número de camadas de células, em relação ao tratamento correspondente sem adubo, resultando num aumento da espessura do limbo foliar (Fig. 5 a - d).

#### 4.1.3 Anatomia Caulinar

O caule em secção transversal é elíptico. A epiderme é unisseriada e possui tricomas tectores unicelulares. O córtex apresenta três a quatro camadas de colênquima em posição subepidérmica, seguidas por cinco a seis camadas de parênquima com espaços intercelulares evidentes. Nos caules com maior quantidade de tecido secundário ocorre instalação de periderme nas camadas mais internas do córtex. O cilindro vascular é envolvido por fibras pericíclicas, seguidas pelo floema primário e secundário, câmbio, xilema secundário e primário e medula parenquimática (Fig. 6 a - d). Não houve diferença marcante na estrutura celular nas plantas dos diferentes tratamentos, somente um provável aumento no número de elementos de vaso do xilema no tratamento C (Fig. 6b). Esse resultado concorda com LARCHER (2000), que observou um aumento no número de elementos traqueais por unidade de área no lenho de angiospermas quando expostas ao estresse da poluição.

#### 4.1.4 Anatomia Radicular

A raiz em secção transversal apresenta crescimento secundário com perda da epiderme e córtex primário. A periderme é constituída de quatro a cinco camadas com células suberizadas alternadas com camadas de células não suberizadas. O sistema vascular é compreendido externamente pelo floema secundário e internamente pelo xilema que forma um maciço sólido atravessado radialmente por raios parenquimáticos. Não houve diferença marcante na estrutura celular nos diferentes tratamentos (Fig. 7 a - d), somente um provável aumento no número de elementos de vaso do xilema no tratamento C (Fig. 7b).

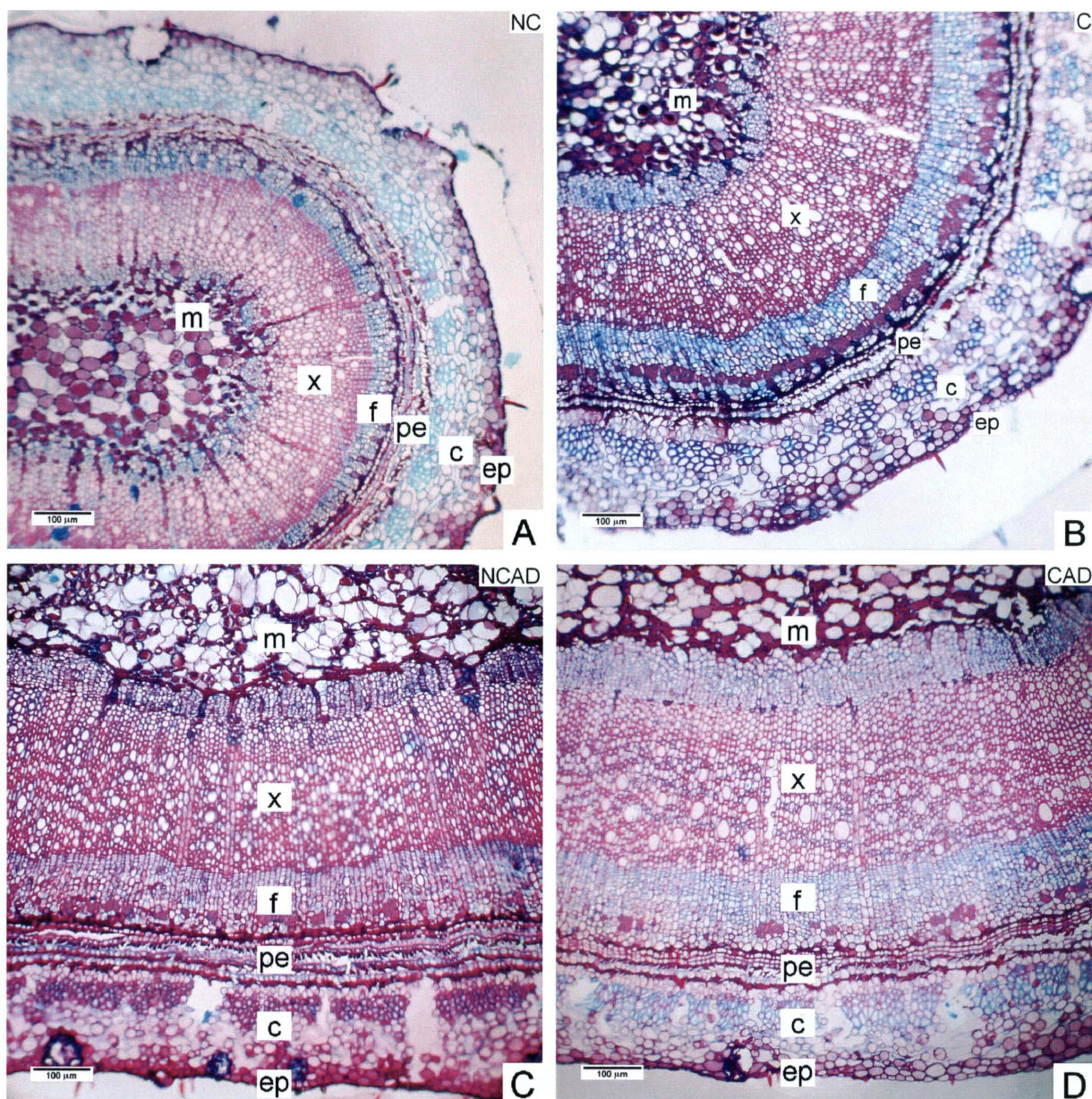


Figura 6: Secções transversais de caule de *Campomanesia xanthocarpa* de experimento em estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado com adubo (CAD). (m) medula, (x) xilema secundário, (f) floema, (pe) periderme, (c) córtex, (ep) epiderme.



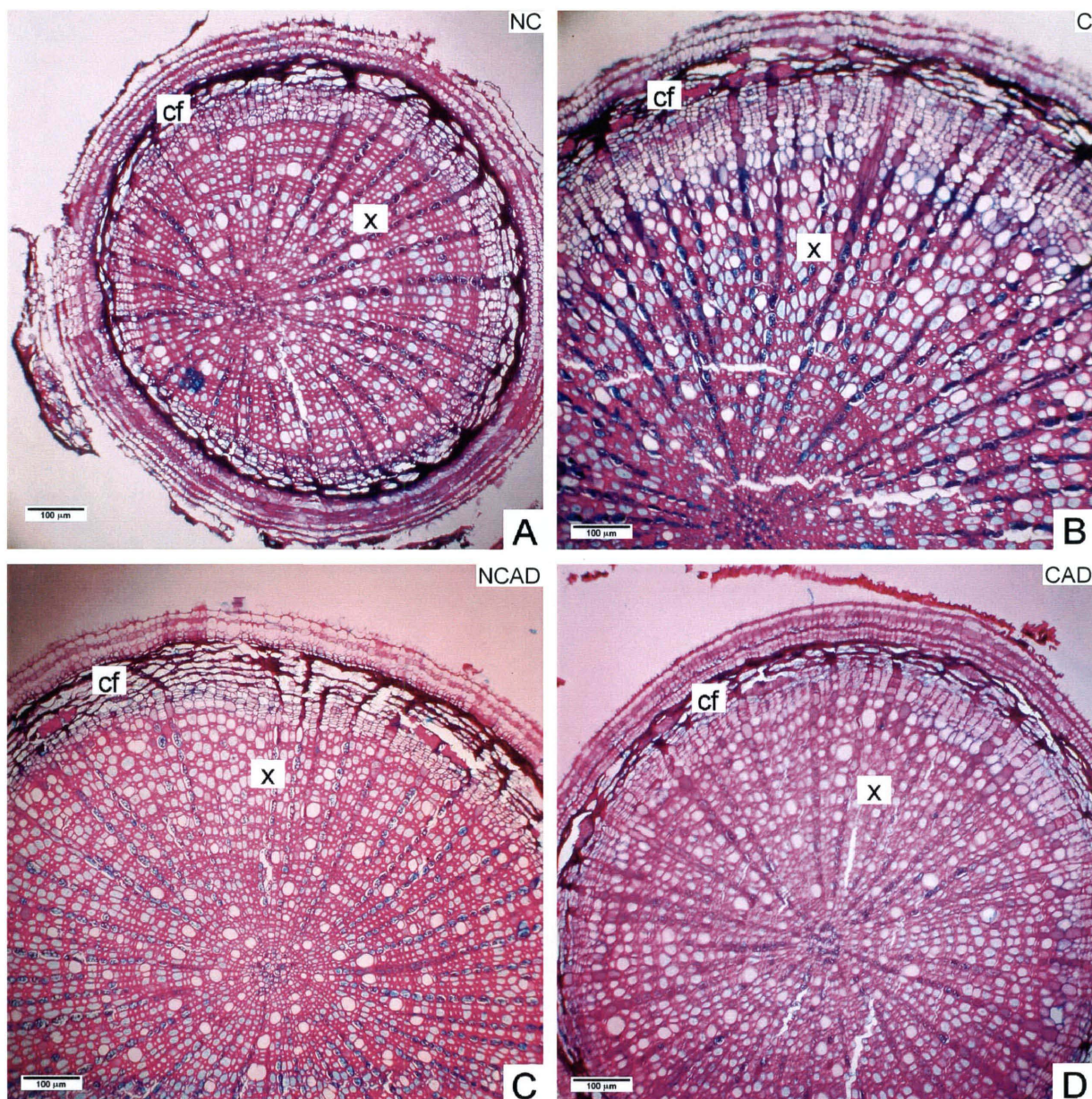


Figura 7: Secções transversais de raiz de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD). (x) xilema secundário, (cf) compostos fenólicos.

#### 4.1.5 Testes Microquímicos

##### 4.1.5.1 Amido

As folhas das plantas dos diferentes tratamentos não apresentaram diferenças qualitativas significativas na quantidade de amido, ao contrário do que foi observado no caule e raiz. No caule as células da medula dos tratamentos NC e NCAD (Fig. 8a e 8c) apresentaram reserva de grânulos de amido, o que não é verificado no tratamentos C e CAD (Fig 8b e 8d). Já na raiz, as células do raio e o parênquima axial reagiram positivamente e com maior intensidade no material dos tratamentos NC e NCAD (Fig. 9a e 9c), indicando maior armazenamento de amido do que nos tratamentos C e C/AD (Fig 9b e 9d). Provavelmente, a adição de adubo provocou maior armazenamento de amido nas plantas tanto do solo contaminado quanto não contaminado. A maior concentração de grânulos de amido dos tratamentos não contaminados provavelmente propiciara nos próximos anos um melhor desenvolvimento dessas plantas pois elas poderão consumir essas reservas e utilizar a energia fornecida no seu desenvolvimento.

Segundo LARCHER (2000), os carboidratos produzidos pela assimilação do gás carbônico são distribuídos, de acordo com a demanda, por toda a planta com o objetivo de suprir as necessidades de cada órgão vegetal. Em sentido oposto ao processo de assimilação e produção de substâncias está o processo de degradação que fornece energia para todo o metabolismo celular. Um dos substratos utilizados nessas reações são os carboidratos. Portanto, quando um organismo é capaz de armazenar uma substância de reserva como o amido, ela terá através do processo de degradação, maior energia em potencial disponível para utilizar futuramente.

##### 4.1.5.2 Compostos fenólicos

Uma maior deposição de compostos fenólicos foi detectada nas folhas das plantas do solo contaminado e contaminado adubado (Fig. 4b e 4d). Em relação ao caule (Fig. 10 a - d) os compostos fenólicos foram detectados somente na medula da

plantas no tratamento C (Fig. 10b). Resultado semelhante foi encontrado na raiz, no entanto os compostos fenólicos encontram-se em maior concentração nos raios e no parênquima axial do xilema das plantas do tratamento C (Fig. 11b) e no floema das plantas dos tratamentos NCAD e C (Fig. 11 b - c). Todos os órgãos analisados (folha, caule e raiz) apresentaram maior presença de compostos fenólicos no tratamento com solo contaminado. Porém quando adicionado adubo, essa deposição diminui, demonstrando que a adição de nutrientes pode ter amenizado o estresse gerado pela contaminação com petróleo.

Segundo ENDRESS (1994) compostos fenólicos são resultantes de um metabolismo secundário. Este metabolismo secundário, é a síntese, metabolismo e catabolismo de componentes endógenos por enzimas especializadas. Os locais onde podem ser armazenados esses metabólitos secundários dependem primeiramente da capacidade das células sintetizarem, armazenarem e metabolizarem os componentes. Na maioria dos casos a concentração varia de acordo com a localização geográfica da planta, clima, solo e fertilização. As plantas investem seus recursos para a produção desses metabólitos pois eles trazem como vantagem ecológica a sobrevivência delas em condições adversas. Como por exemplo o metabólito secundário, alcalóide, encontrado em folhas jovens de *Coffea arabica*, que as protegem da predação por insetos pois causam desde pequenos distúrbios no organismo do predador até a sua morte.

Compostos fenólicos apresentam ação como agentes alelopáticos, inseticida, anti-fúngicos e suporte mecânico nos diferentes órgãos da planta. Esses compostos são caracterizados por possuir um ou mais grupos fenol, anel aromático com um ou mais grupos hidroxílicos. Esse grupo de substâncias compreende diversas classes de compostos biologicamente importantes destacando-se os taninos e os flavonóides (LARCHER, 2000).

Segundo TAIZ e ZEIGER (2004), fatores ambientais como baixos níveis de nutrientes, luz e infecção por fungos podem elevar a síntese de compostos fenólicos. Neste experimento a contaminação por petróleo pode ter sido a causa da elevação da concentração desses compostos, já que as plantas estavam sob estresse e este seria um mecanismo de defesa.

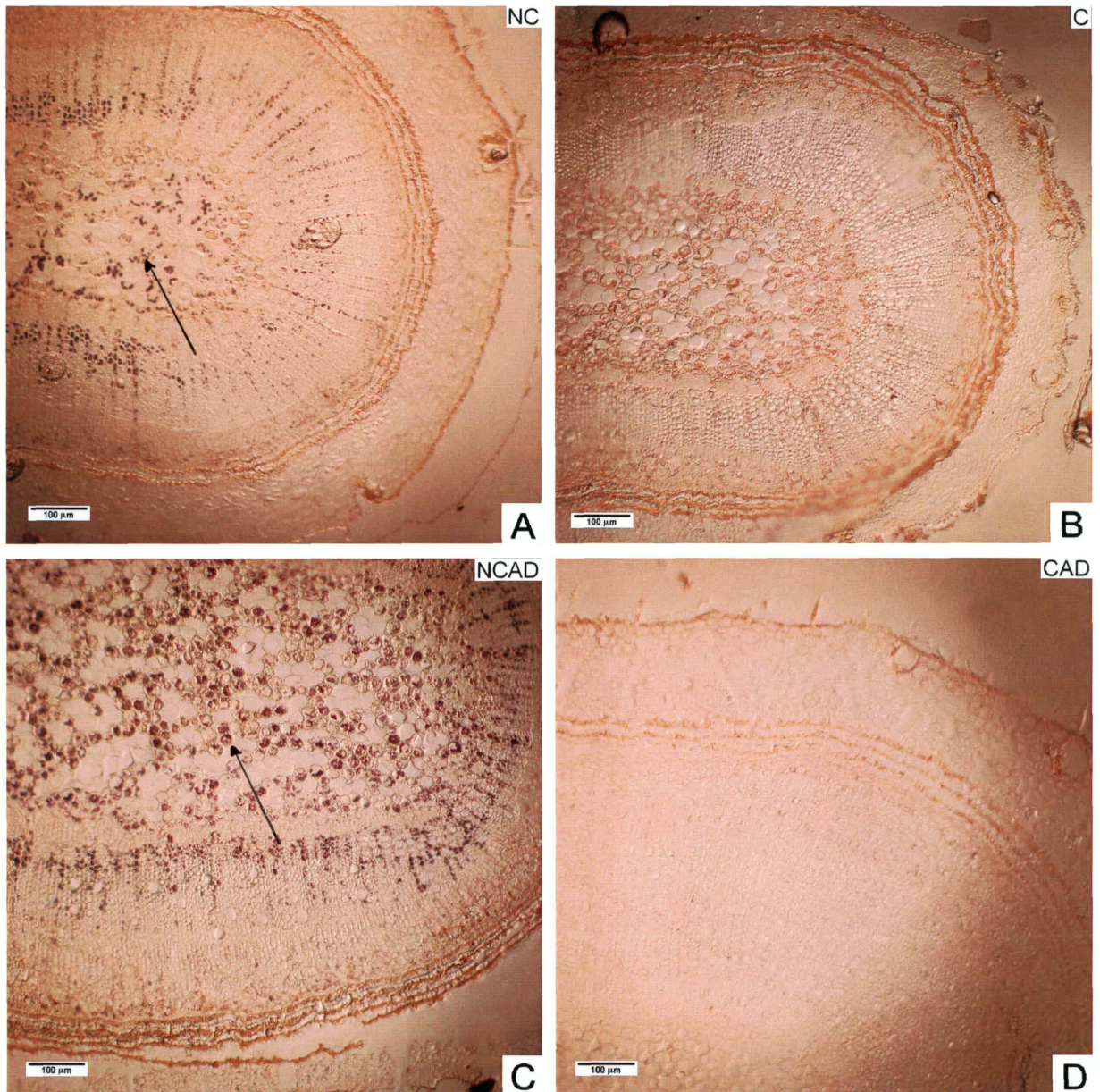


Figura 8: Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais de caule de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD). (→) amido.

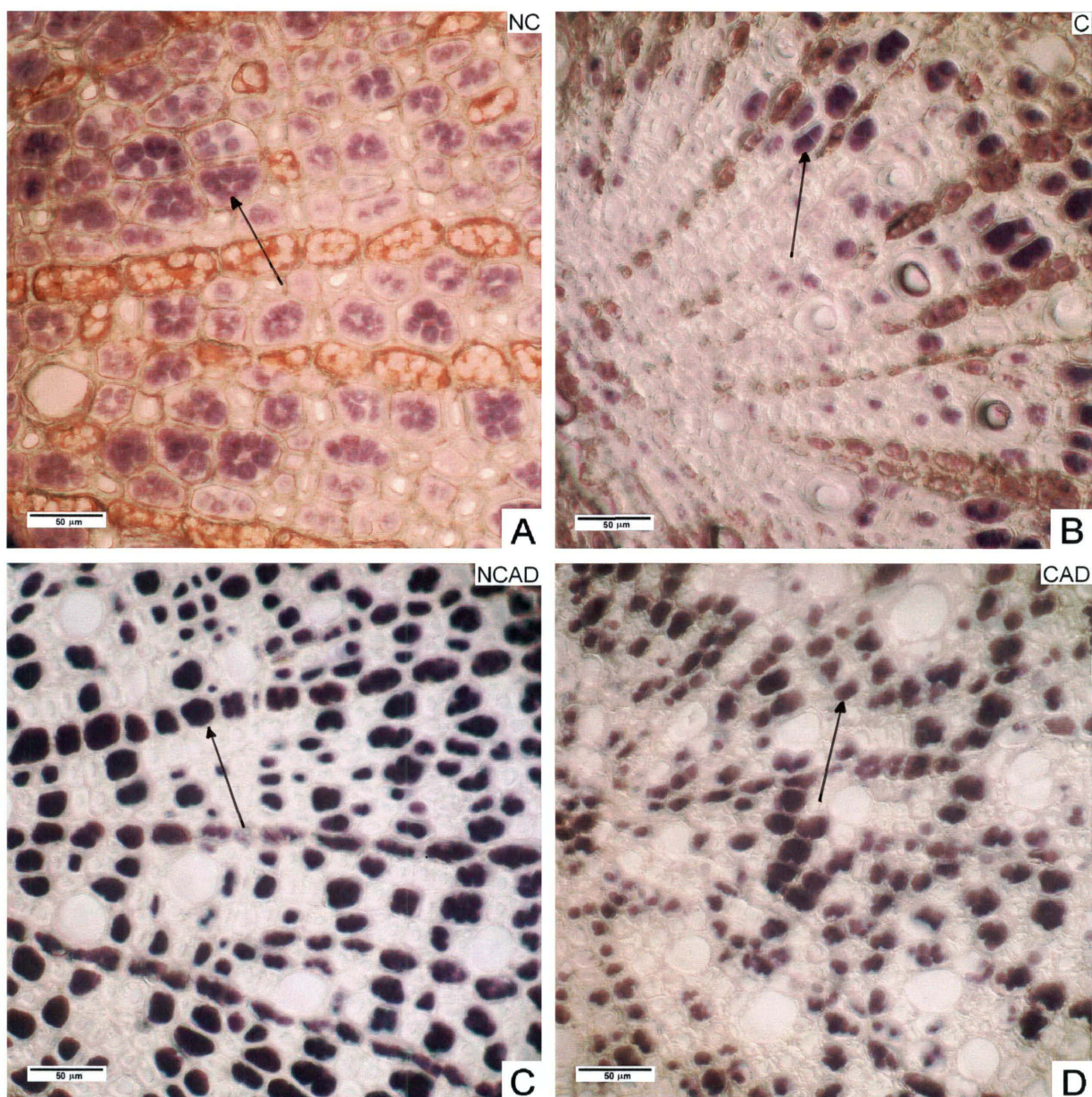


Figura 9: Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais de raiz de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD). (→) amido.

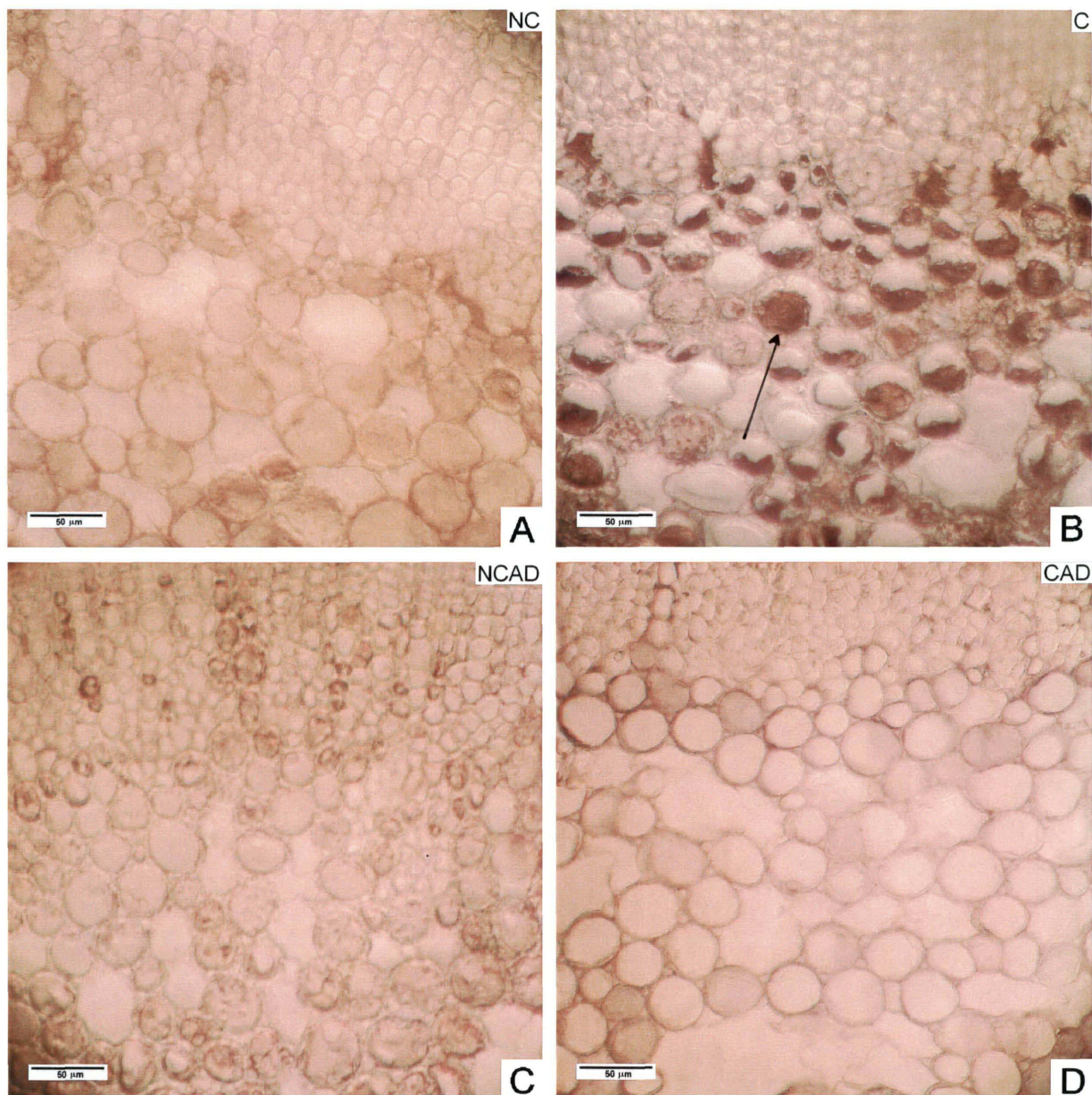


Figura 10: Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de caule de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD). (→) compostos fenólicos.

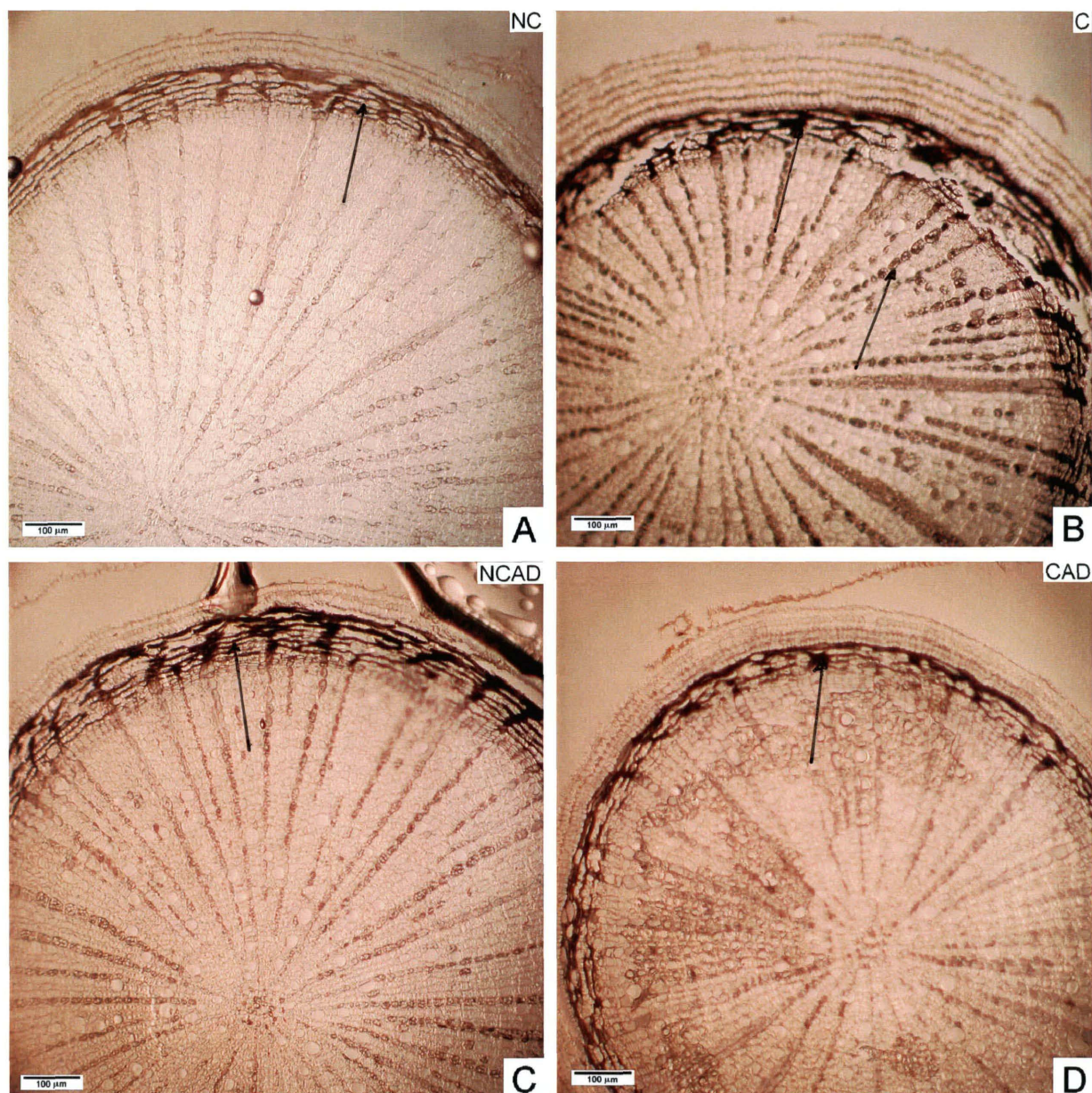


Figura 11: Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de raiz de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de estufa. A. solo não contaminado (NC); B. solo contaminado (C); C. solo não contaminado adubado (NCAD); D. solo contaminado adubado (CAD). (→) compostos fenólicos.

## 4.2 EXPERIMENTO DE CAMPO

### 4.2.1 Morfologia e crescimento

As plantas das áreas 2C e 2NC (Fig. 12 a - b) não apresentaram diferenças significativas nas medidas de área foliar e peso foliar provavelmente pelas características físicas semelhantes das duas áreas (Tabela 3). Porém, na área 2NC ocorreu maior predação das folhas por diversos insetos, o que acarretou num atraso de desenvolvimento com diferenças de altura e diâmetro muito superiores nas plantas da área 2C. Apesar das medidas de área foliar e peso foliar não serem diferentes entre as áreas, a predação que ocorreu na área 2NC também acarretou menores valores para o peso foliar total, peso seco total e área foliar total. O peso seco da raiz das plantas da área 2NC foi muito inferior ao da área 2C, esse dado pode ser resultado de dois fatores: a alta concentração de alumínio e a baixa concentração de cálcio na área 2C (Tabela 3). De acordo com ROY et al. (1988), o alumínio afeta o crescimento das raízes por se acumular nas zonas meristemáticas e de alongação. Além disso, a área 2NC possuía baixo pH, no caso de 4,1, o que potencializa o efeito do alumínio e pode tornar-se um limitante para o crescimento da planta como um todo. A deficiência de cálcio, segundo WACHOWICZ e CARVALHO (2002), pode levar a raízes menos desenvolvidas.

A espessura foliar, da mesma forma que no experimento de estufa, se apresenta com os maiores valores nas áreas contaminadas, 2C e 3C, provavelmente como uma estratégia para reduzir a perda de água. Principalmente na área 3C que está exposta a maior intensidade luminosa, ficando evidente esta estratégia quando se compara as médias de área foliar que são mais reduzidas nessa área. Porém, o peso foliar entre as áreas 3C e 3NC não apresenta diferença significativa devido a compensação pelo maior valor de espessura foliar. Similarmente às plantas da área 2NC, as plantas da área 3NC (Fig. 12c) também sofreram com a predação das folhas por diferentes insetos, isso acarretou os menores valores de peso foliar total, peso seco total e área foliar total. Na área 3C (Fig. 12d) as plantas não sofreram o problema da predação mas havia o problema da competição com as gramíneas que cresciam muito próximas as plantas dificultando seu desenvolvimento e isso pode



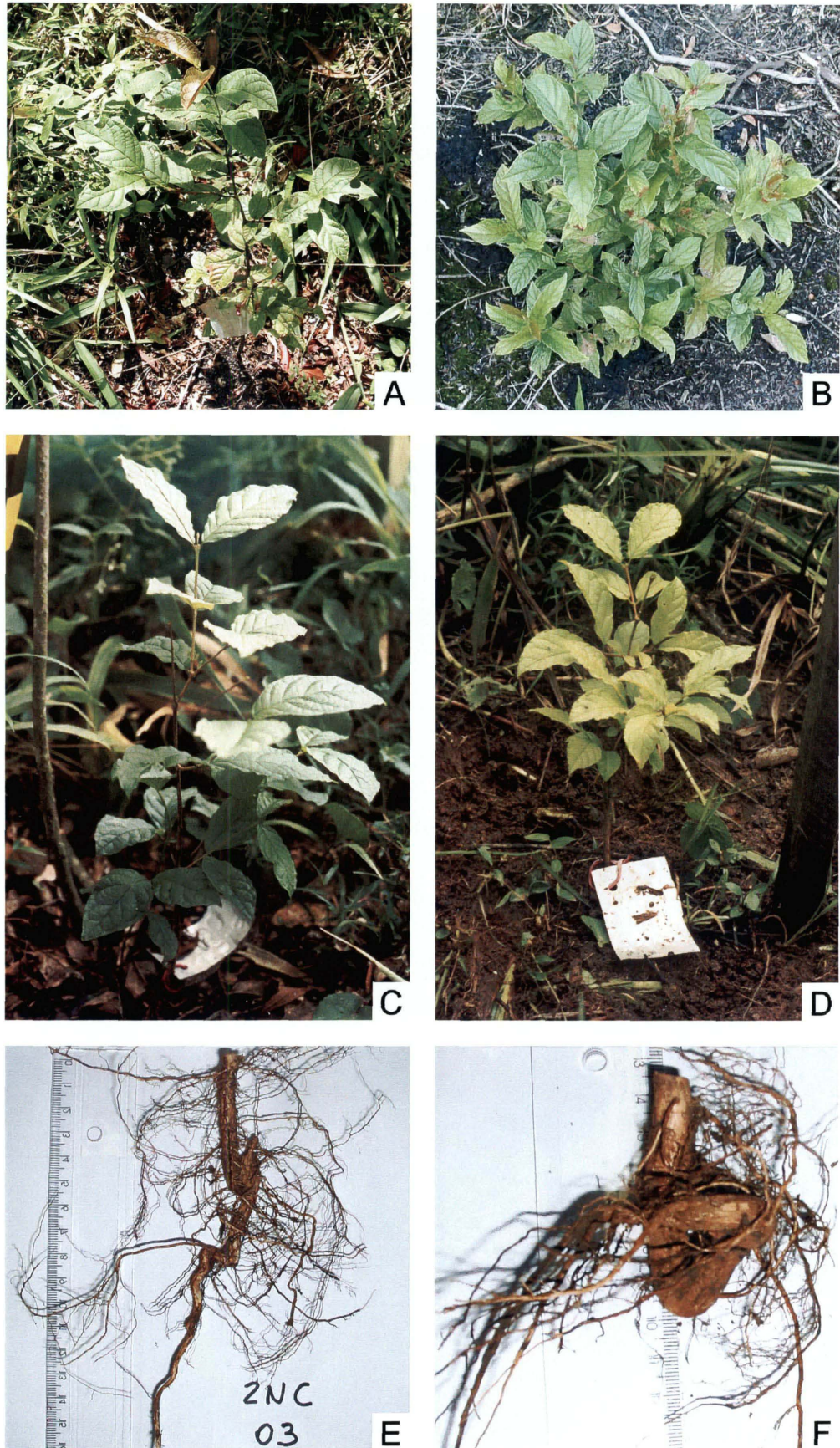


Figura 12: Plantas de *Campomanesia xanthocarpa* crescidas em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C); E. detalhe da raiz, área não contaminada (2NC); F. detalhe da raiz, área contaminada (2C).

TABELA 3 - DADOS DE ANÁLISE DE ÁREA FOLIAR (40 FOLHAS POR ÁREA), PESO FOLIAR (40 FOLHAS POR ÁREA), PESO FOLIAR TOTAL, ÁREA FOLIAR TOTAL, PESO SECO TOTAL (FOLHAS+CAULE+RAIZ), PESO SECO AÉREO/RAIZ, PESO SECO RAIZ, DIFERENÇA DIÂMETRO DO CAULE, DIFERENÇA ALTURA E ESPESSURA FOLIAR NO EXPERIMENTO DE CAMPO.

Tratamentos	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso foliar (g)	Peso Foliar Total (g)	Área Foliar Total (cm <sup>2</sup> )	Peso Seco Total (g)	Peso seco Aéreo/raiz	Peso seco raiz (g)	Diâmetro do Caule (Df-Di) (mm)	Altura do Caule (Af-Ai) (cm)	Espessura foliar (µm)
2NC	11,39a	0,07a	1,47a	240,38a	5,69a*	1,23a*	2,57a*	2,59a*	17,48a*	108,16a*
2C	13,85a	0,14a	7,55b	766,65b	24,03b*	2,58b*	7,08b*	5,99b*	29,38b*	147,63b*
3NC	17,31a*	0,09a	1,5a	284,04a	6,85a	1,1a	3,56a	2,69a	18,91a	105,02a*
3C	12,29b*	0,1a	3,51b	433,38a	11,75b	1,98a	4,39a	3,42a	22,13a	148,39b*

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. \* Médias diferem estatisticamente ao nível de 1%.

(2NC) área 2 solo não contaminado, (2C) área 2 solo contaminado, (3NC) área 3 solo não contaminado, (3C) área 3 solo contaminado, (Df) diâmetro final, (Di) diâmetro inicial, (Af) altura final, (Ai) altura inicial.

ser a causa de não haver diferença significativa entre as medidas de diferença altura e diâmetro entre as áreas 3NC e 3C (Tabela 03).

Em relação a morfologia da raiz, foi observada a mesma estrutura das raízes do experimento de estufa, as quais em solo contaminado não desenvolveram uma raiz principal profunda crescendo próximo a superfície do solo (Fig. 12 e - f).

#### 4.2.2 Anatomia foliar, caulinar e radicial

A nervura central da folha da área 2C (Fig. 13b) apresenta células com conteúdo mais densamente corado, quando comparado as outras. As folhas das plantas das áreas 2C e 3C (Fig. 14b e 14d) apresentam as células da epiderme da face abaxial mais estreitas quando comparadas as plantas das áreas 2NC e 3NC (Fig. 14a - 14c). As plantas da área 3C estavam numa área muito alagada, o que provavelmente gerou folhas com grandes espaços intercelulares (Fig. 14d). E também raiz com células parenquimáticas maiores e com parede celular fina (Fig. 16d). Já as plantas da área 3NC, a qual era seca, apresentaram folhas (Fig. 14c) com poucos espaços entre as células e caule (Fig. 15c) e raízes mais esclerificadas (Fig. 16c). BONA e MORRETES (2003) também verificaram a presença de aerênquima como uma evidencia da capacidade de adaptação a ambientes alagados nas espécies *Bacopa salzmanii* e *Bacopa monnierioides*.

#### 4.2.3 Testes Microquímicos

##### 4.2.3.1 Amido

As folhas das quatro áreas não apresentaram diferenças significativas, sendo esse resultado próximo ao obtido no experimento de estufa. Tanto o caule da área 2NC como o da área 2C possuem muito pouca reserva de amido (Fig. 17 a - b), isso pode ser devido aos dois solos serem pobres em macronutrientes. O caule da área 3C (Fig. 17d) tem uma reserva de grânulos de amido ligeiramente superior ao a área 3NC (Fig. 17c). No entanto as raízes tanto da área 2C e 3C (Fig. 18b e 18 d) possuem uma maior reserva de amido do que as áreas não contaminadas (Fig. 18a e 18c), provavelmente por estarem mais expostas ao sol.

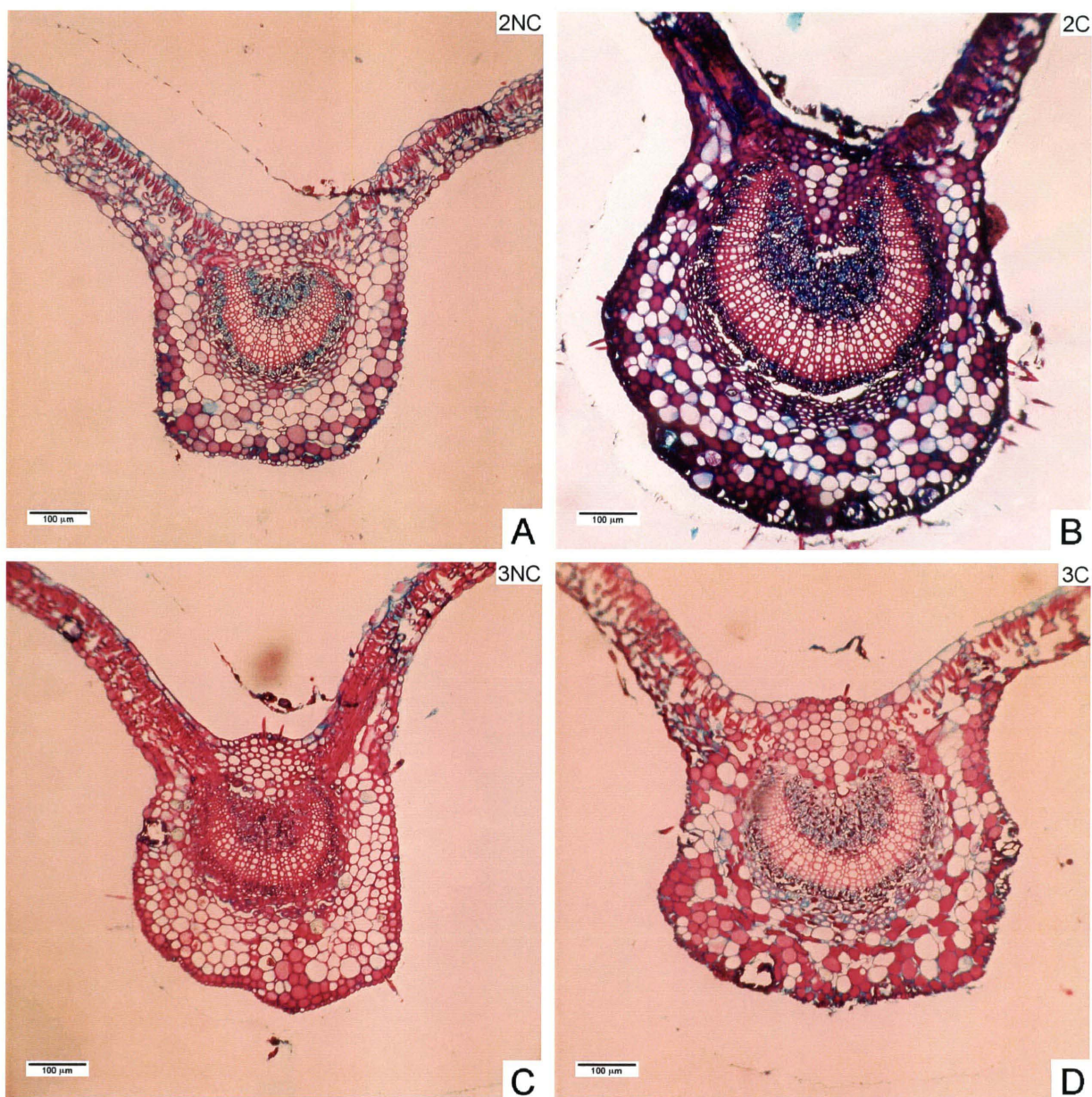


Figura 13: Secções transversais da nervura central de folha de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C).

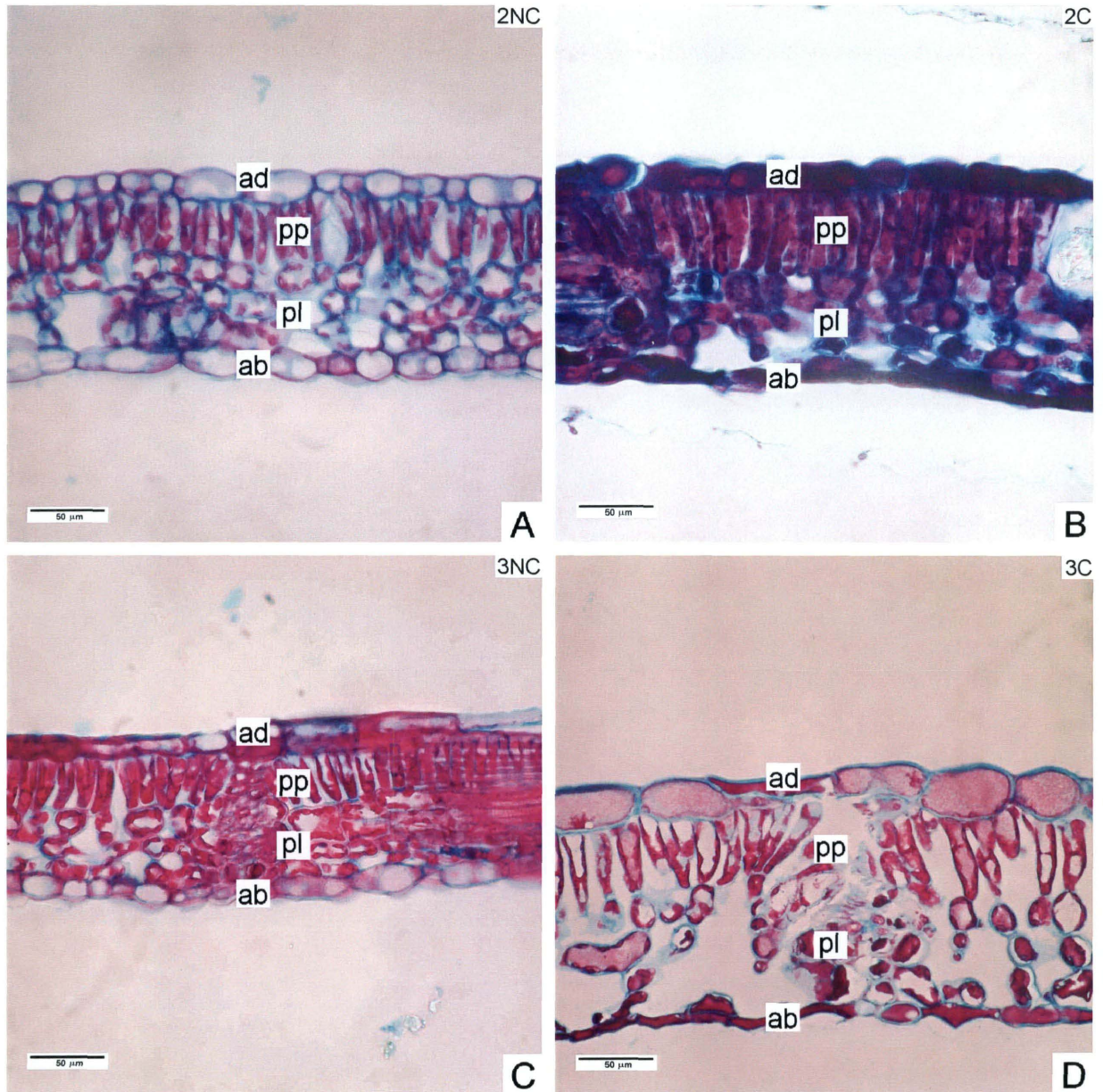


Figura 14: Secções transversais do limbo de folha de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C). (ad) epiderme adaxial, (pp) parênquima paliçadico, (pl) parênquima lacunoso, (ab) epiderme abaxial.

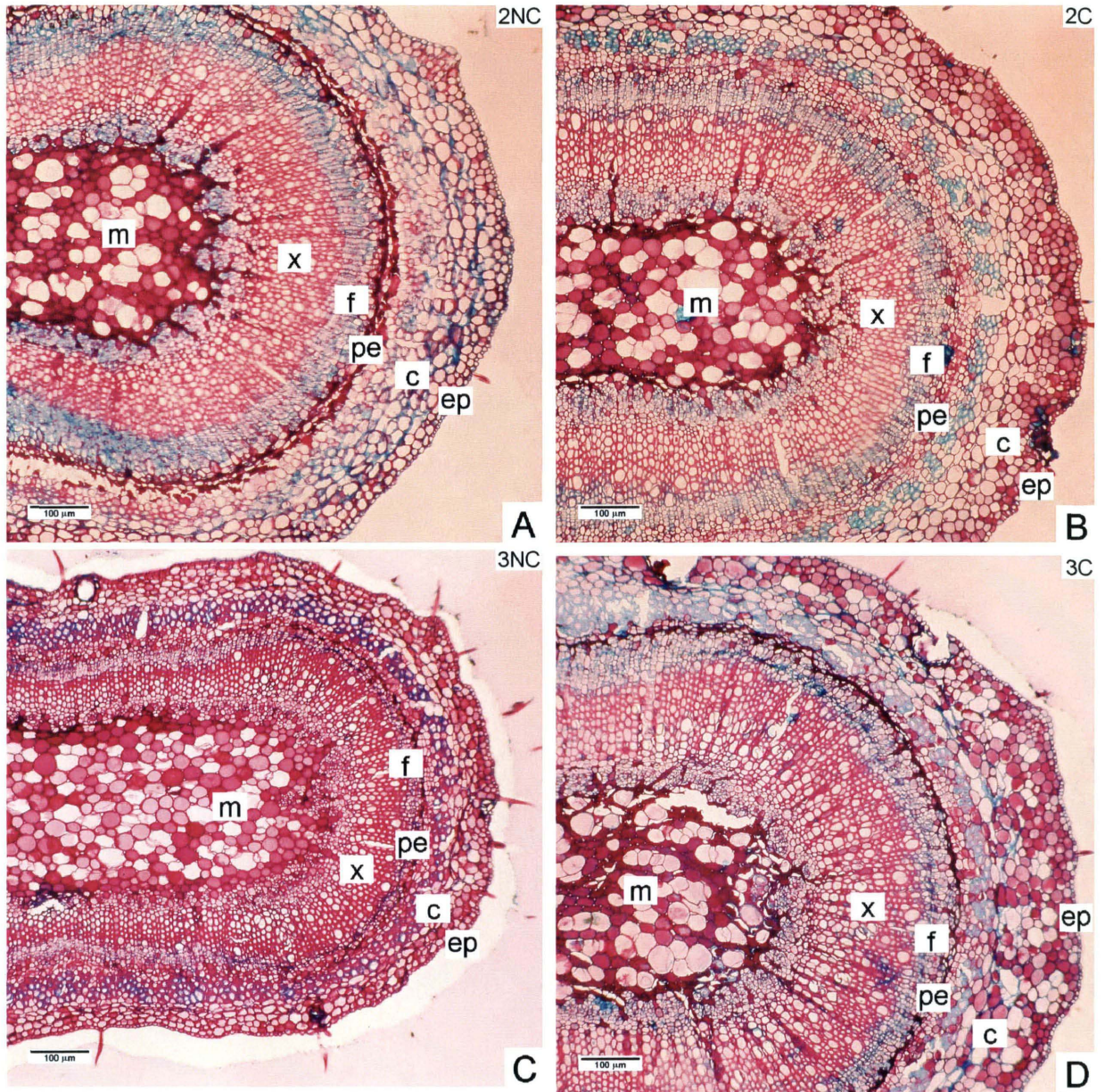


Figura 15: Secções transversais de caule de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C). (m) medula, (x) xilema, (f) floema, (pe) periderme, (c) córtex, (ep) epiderme.

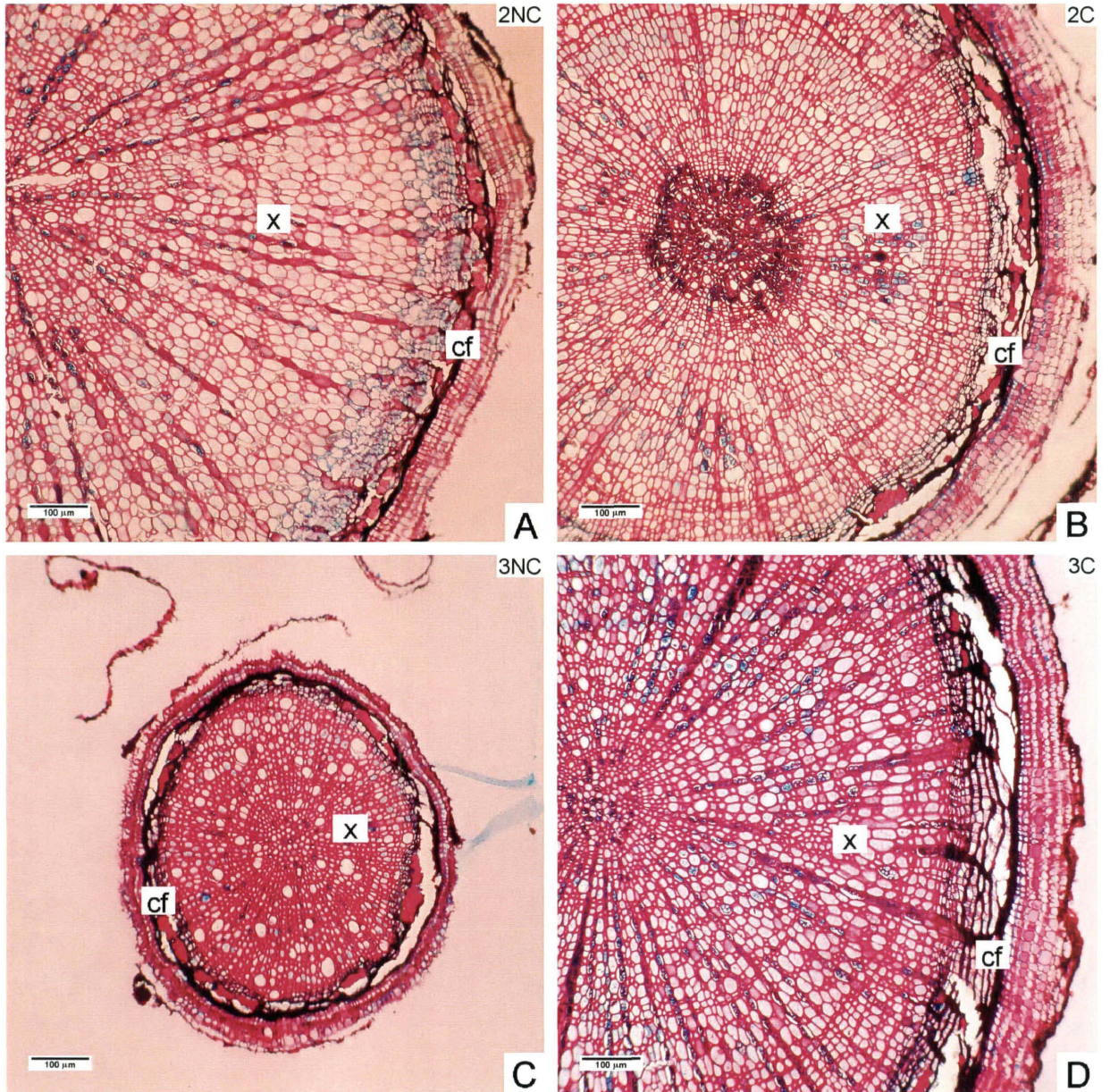


Figura 16: Secções transversais de raiz de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C). (x) xilema, (cf) compostos fenólicos.

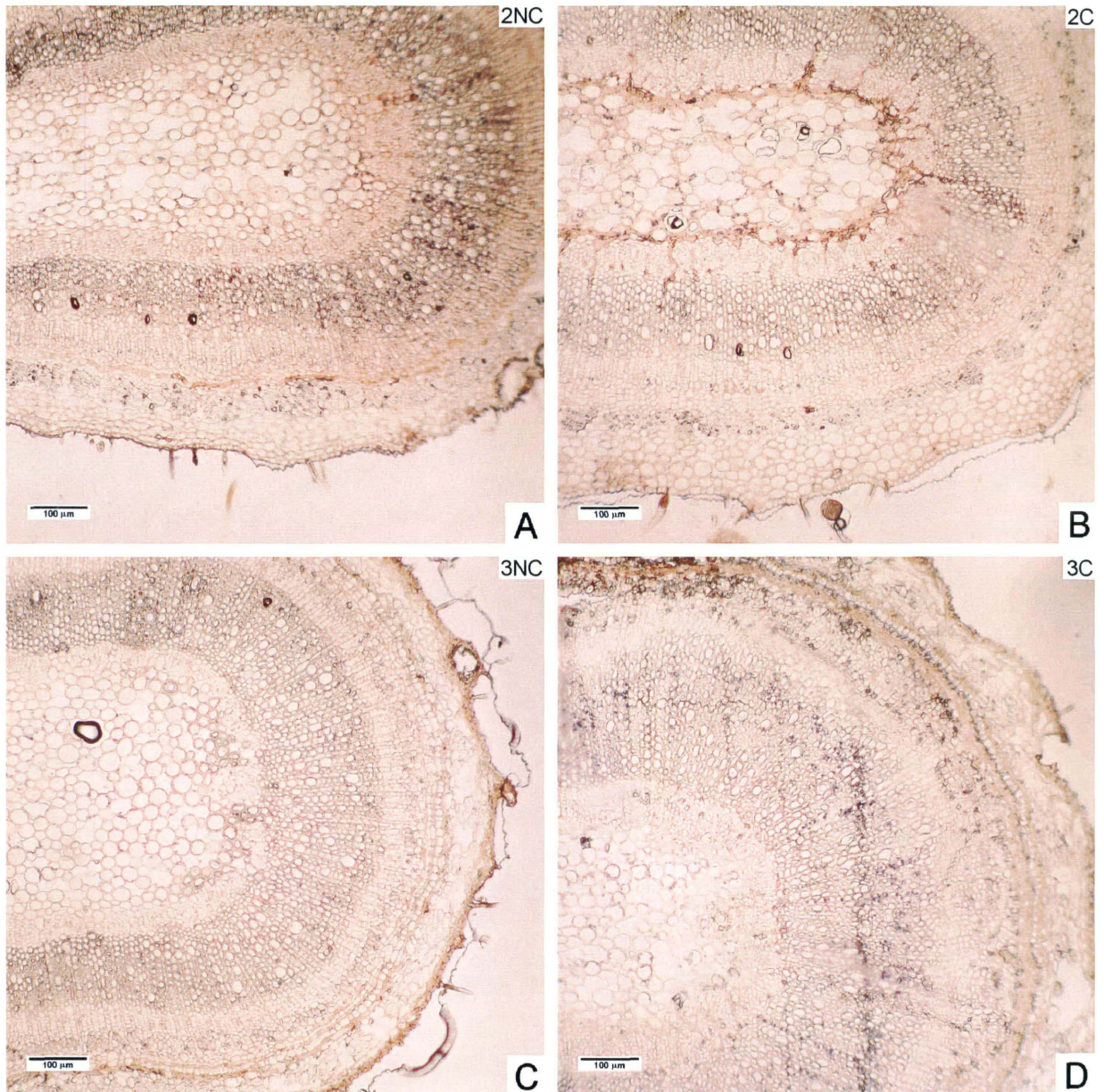


Figura 17: Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais do caule de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C).



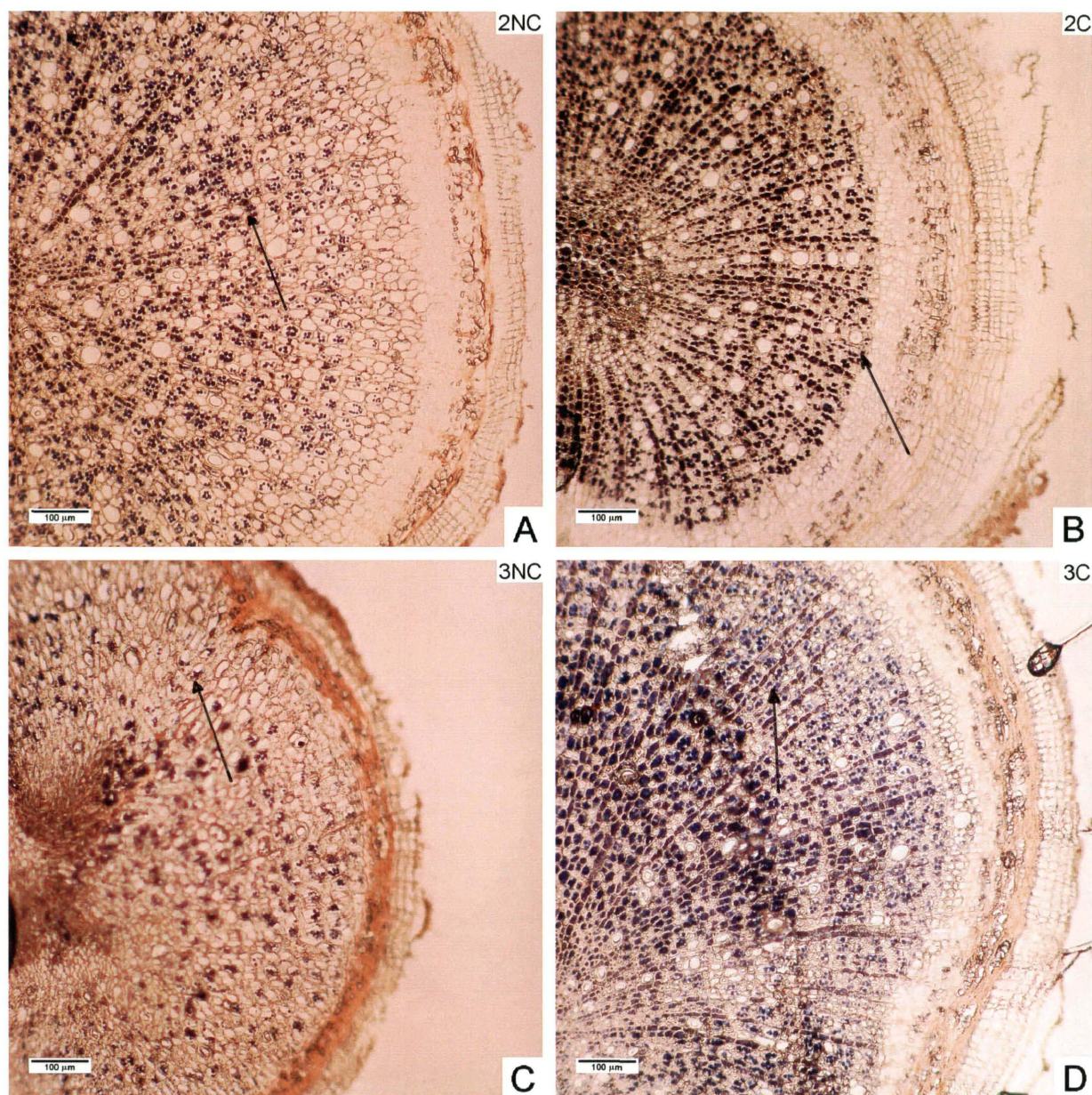


Figura 18: Teste com lugol para identificação de amido em secções transversais da raiz de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C). (→) amido.

#### 4.2.3.2 Compostos fenólicos

A deposição de compostos fenólicos nas folhas foi praticamente a mesma entre as quatro áreas sendo ligeiramente maior nas áreas contaminadas (Fig. 13 a - d). No caule das áreas 2C e 2NC não houve diferença na deposição (Fig. 19 a - b), somente o caule da área 3C (Fig. 18d) que apresentou uma pequena deposição de compostos fenólicos em relação ao caule da área 3NC (Fig. 19c). No entanto, nas raízes das áreas 2C e 2NC (Fig. 20 a - b) foi observada uma grande diferença com a maior deposição de compostos fenólicos na região central da raiz da área 2C (Fig. 20b). Nas raízes das áreas 3C e 3NC não foi observada diferença (Fig. 20 c - d).

### 4.3 ANÁLISE DE CLOROFILA

#### 4.3.1 Experimento em estufa

TABELA 4 - TEORES DE CLOROFILA B, A E TOTAL NAS FOLHAS DE *C. XANTHOCARPA* CRESCENDO EM SOLO CONTAMINADO ADUBADO (CAD), SOLO CONTAMINADO (C), SOLO NÃO CONTAMINADO ADUBADO (NCAD) E SOLO NÃO CONTAMINADO (NC) EM EXPERIMENTO DE ESTUFA

Tratamentos	Clorofila b (mg / g)	Clorofila a (mg / g)	Clorofila total (mg / g)
CAD	27,27a	77,99a	105,25a
C	35,49a	99,4a	134,89a
NCAD	14,79b	41,54b	56,24b
NC	23,72a	65,45a	89,19a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos a partir da análise de clorofila indicam que a adubação teve o efeito de diminuir as concentrações das clorofila b, a e total (Tabela 04). E não a contaminação como podia-se esperar, este fato está de acordo com PANDOLFINI (1992), que afirmou que uma concentração intermediária de níquel no solo pode não

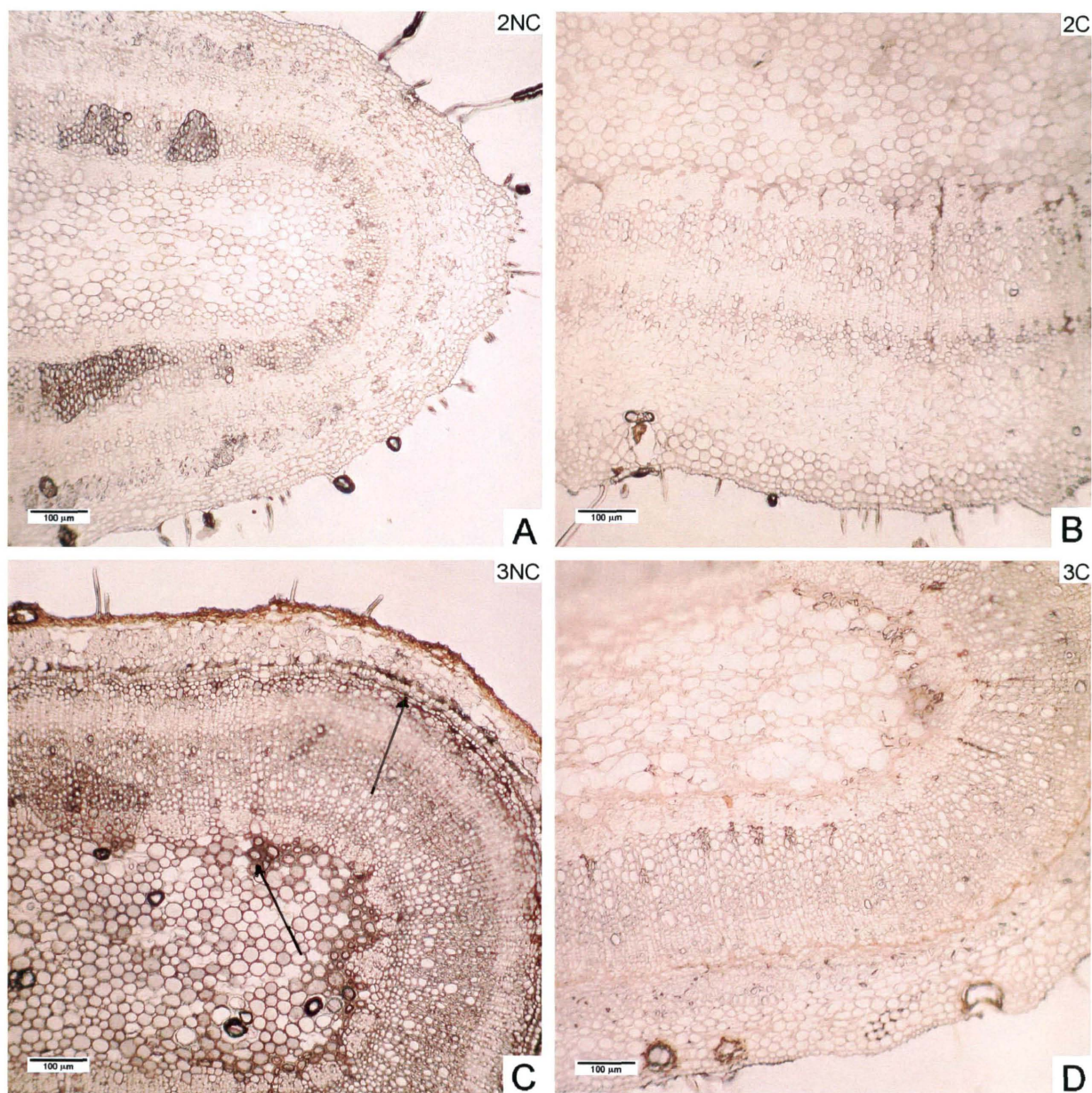


Figura 19: Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais de caule de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C). (→) compostos fenólicos.

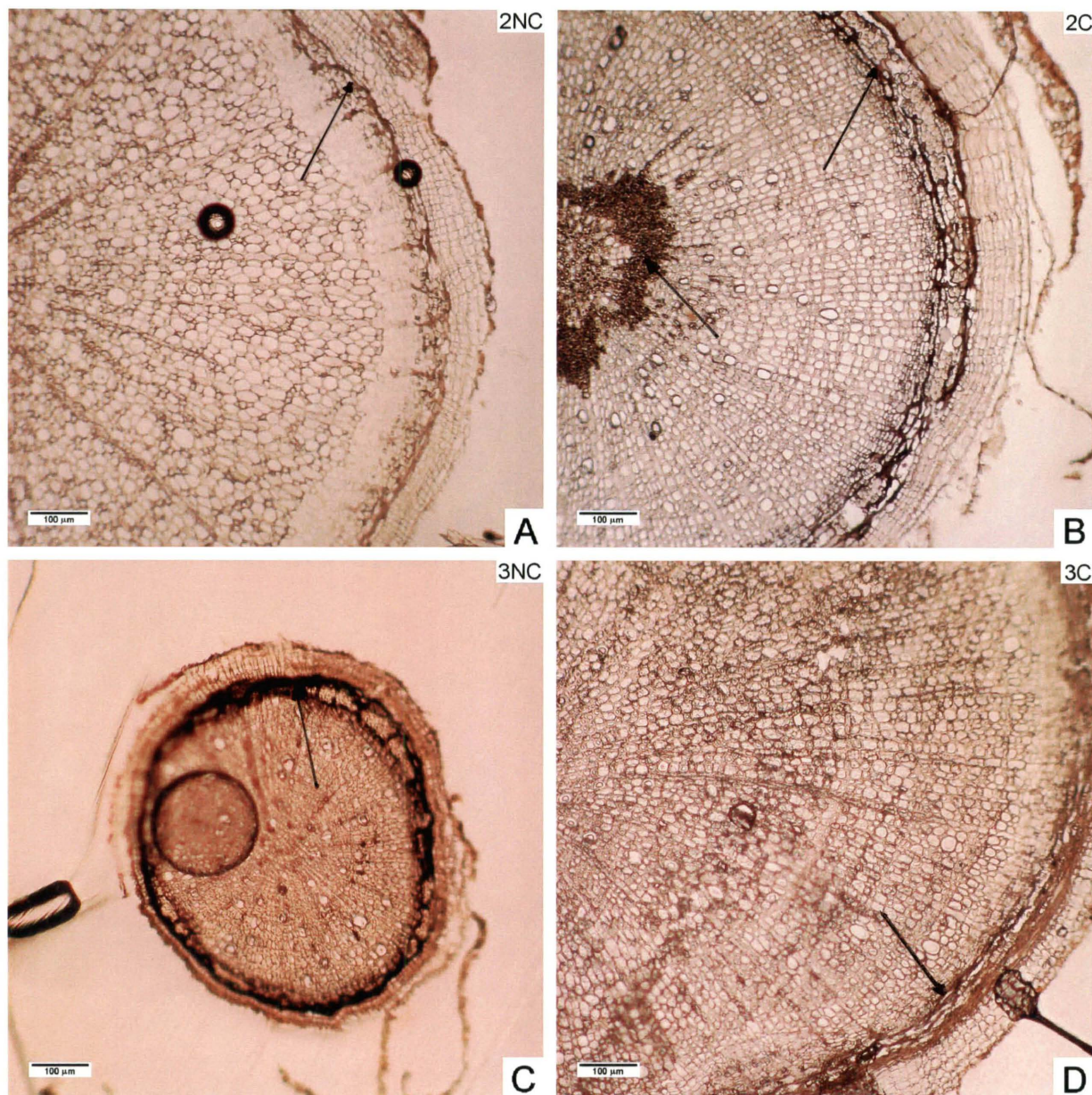


Figura 20: Teste com cloreto férrico para identificação de compostos fenólicos em secções transversais da raiz de *Campomanesia xanthocarpa* em experimento de campo; A. área não contaminada (2NC); B. área contaminada (2C), C. área não contaminada (3NC); D. área contaminada (3C). (→) compostos fenólicos.

alterar os níveis de clorofila. A concentração média de níquel no solo é em torno de  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  e a análise do solo indicou uma concentração de  $2 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o solo não contaminado e de  $9 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o solo contaminado. Este valor de níquel no solo provavelmente não interferiu na síntese de clorofila.

#### 4.3.2 Experimento de campo

TABELA 5 - TEORES DE CLOROFILA B, A E TOTAL NAS FOLHAS DE *C. XANTHOCARPA* CRESCENDO EM SOLO DA ÁREA 2NC (SOLO NÃO CONTAMINADO), 2C (SOLO CONTAMINADO), 3NC (SOLO NÃO CONTAMINADO) E 3C (SOLO CONTAMINADO) EM EXPERIMENTO DE CAMPO.

Tratamentos	Clorofila b (mg / g)	Clorofila a (mg / g)	Clorofila total (mg / g)
2NC	50,45a	131,56a	182,01a
2C	37,3a	94,24a	131,54a
3NC	122,74a*	285,03a*	407,78a*
3C	58,02b*	142,71b*	200,77b*

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. \* Médias diferem estatisticamente ao nível de 1%.

As áreas 2C e 2NC não apresentaram diferenças significativas nas análises de clorofila. Provavelmente isso ocorreu porque essas áreas propiciaram condições de iluminação e suprimento hídrico muito semelhantes, o que já não foi observado nas áreas 3C e 3NC, a área 3C ficava próxima a beira de um rio, solo encharcado, e estava exposta a luz do sol durante todo o período do dia. A área 3NC era na ligeiramente mais elevada e drenada com solo seco e muito sombreada. Provavelmente essas diferenças nas condições físicas das duas áreas é que deve ter gerado essas diferenças nos valores de clorofila e não o contaminante (Tabela 05).

## 4.4 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO E DAS FOLHAS

### 4.4.1 Experimento em estufa

TABELA 06 – ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO NO INÍCIO E AO FINAL DO EXPERIMENTO CONTAMINADO COM PETRÓLEO COM ADUBO (CAD) E SEM ADUBO (C), ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO NÃO CONTAMINADO COM PETRÓLEO COM ADUBO (NCDA) E SEM ADUBAÇÃO (NC) E ANÁLISE QUÍMICA DAS FOLHAS NO EXPERIMENTO DE ESTUFA

Análise Química	Solo C			Solo NC			Solo CAD			Solo NCDA		
	Início	Fim	Planta	Início	Fim	Planta	Início	Fim	Planta	Início	Fim	Planta
pH - CaCl <sub>2</sub>	4,5	4,5	(1)	5,4	4,9	(1)	4,4	4,4	(1)	4,9	4,7	(1)
Al <sup>+3</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	1,2	2,3	(1)	0	0,6	(1)	2,9	2,7	(1)	0,4	1,1	(1)
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	10,5	15,2	(1)	5,8	7,2	(1)	13,1	16,2	(1)	7,8	8,4	(1)
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	23,18	24,9	(1)	19,91	19,62	(1)	25,42	26,9	(1)	22,53	21,69	(1)
C (g/dm <sup>3</sup> )	38,3	29,3	(1)	27,5	16	(1)	34,1	32,9	(1)	22	20,2	(1)
pH - SMP	5	4,9	(1)	5,8	5,5	(1)	4,7	4,9	(1)	5,4	5,3	(1)
V (%)	54,7	38,96	(1)	70,87	63,3	(1)	48,47	39,78	(1)	65,38	61,27	(1)
Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	12,4	9,5	(1)	13,9	12	(1)	12	10,5	(1)	14,4	13	(1)
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	6,8	5,7	9,99 <sup>(2)</sup>	7,7	7,1	10,54 <sup>(2)</sup>	7,2	6,2	11,35 <sup>(2)</sup>	8,5	7,6	11,52 <sup>(2)</sup>
Mg (g/kg)	(1)	(1)	2,61	(1)	(1)	2,90	(1)	(1)	2,94	(1)	(1)	3,44
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,28	0,2	8,34 <sup>(2)</sup>	0,21	0,42	8,16 <sup>(2)</sup>	0,32	0,2	8,40 <sup>(2)</sup>	0,33	0,29	8,82 <sup>(2)</sup>
P (mg/dm <sup>3</sup> )	6,5	63,6	0,78 <sup>(2)</sup>	4,6	20,9	2,63 <sup>(2)</sup>	7	20,2	1,79 <sup>(2)</sup>	10,1	23,8	4,1 <sup>(2)</sup>
N (g/kg)	3,2	(1)	(1)	1,1	(1)	(1)	2,9	(1)	(1)	1,3	(1)	(1)
Fe (ppm)	184	(1)	183	115,5	(1)	290,3	197	(1)	472,9	212	(1)	292,7
Mn (ppm)	253	(1)	464,3	19,9	(1)	244	221	(1)	562,3	83	(1)	332
Cu (ppm)	3,1	(1)	11	1,6	(1)	11	3,1	(1)	10,7	2,1	(1)	11,7
Zn (ppm)	30	(1)	190	15,2	(1)	299,3	23,2	(1)	365,3	5,4	(1)	314,7

<sup>(1)</sup> análise não realizada

<sup>(2)</sup> g/kg (P, K, Ca)

De acordo com o observado na Tabela 6, a concentração de fósforo do tratamento C, no experimento de estufa, é a menor entre os tratamentos e inferior a mínima normalmente encontrada na matéria seca que é de 1 g.kg<sup>-1</sup> segundo WACHOWICZ e CARVALHO (2002), este fato pode ajudar a compreender a não capacidade de armazenamento de amido nas plantas deste tratamento (Fig.04d),

pois baixas concentrações de P dificultam a produção de amido pelos cloroplastos. Porém, no tratamento NCAD a adição da adubação contendo esse elemento propiciou uma maior absorção desse nutriente pela planta que passou a armazenar amido principalmente na medula do caule (Fig 04c).

Por outro lado, a adição do potássio não alterou significativamente a absorção desse elemento pela planta. Os elementos Ca e Mg também não sofreram grande variação entre os tratamentos.

Os elementos Cu, Zn e Mn tem sua disponibilidade aumentada com o decréscimo do pH e como consequência observa-se que mesmo nos tratamentos NC e NCAD eles se encontram em concentrações elevadas na planta. De acordo com TAIZ e ZEIGER (2004), os níveis adequados no tecido desses elementos deveriam ser, respectivamente, de 6 ppm, 20 ppm e de 50 ppm. Altas concentrações desses elementos poderiam levar a uma deficiência na absorção de Fe pela planta, no entanto, isso não é observado provavelmente por esta espécie ter a capacidade de se adaptar a este solo, já que elas ocorrem naturalmente na região. A espécie *C. xanthocarpa* é uma espécie tolerante pois suporta essas elevadas concentrações sem sofrer injúria, ao contrário da espécie *Elodea canadensis* que é uma planta sensível e não sobrevive a concentrações de 0,3 ppm de Cu e 3,3 ppm de Zn no ambiente (LARCHER, 2000).

## 4.4.2 Experimento de campo

TABELA 07 – ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO CONTAMINADO (2C) E DO SOLO NÃO CONTAMINADO (2NC) E ANÁLISE QUÍMICA DAS FOLHAS NO EXPERIMENTO DE CAMPO

Análise Química	Solo área 2C	Folhas <i>C. xantocarpa</i> área 2C	Solo área 2NC	Folhas <i>C. xantocarpa</i> área 2NC
pH - CaCl <sub>2</sub>	4,4	(1)	4,1	(1)
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2	(1)	6,5	(1)
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	14,1	(1)	19	(1)
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	19,84	(1)	21,59	(1)
C (g/dm <sup>3</sup> )	38,9	(1)	38,9	(1)
pH - SMP	4,6	(1)	4,2	(1)
V (%)	28,93	(1)	12	(1)
Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	5,6	(1)	2,4	(1)
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,9	12,10 <sup>(2)</sup>	1,5	7,05 <sup>(2)</sup>
Mg (g/kg)	(1)	2,86	(1)	2,94
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,14	4,66 <sup>(2)</sup>	0,19	5,11 <sup>(2)</sup>
P (mg/dm <sup>3</sup> )	2,4	0,75 <sup>(2)</sup>	2	0,95 <sup>(2)</sup>
N (g/kg)	1,4	14,14	2,6	14,57
Fe (ppm)	703,0	176,67	110,2	204,33
Mn (ppm)	284,0	238,33	4,0	139,33
Cu (ppm)	2,4	16	1,4	15,7
Zn (ppm)	1,5	16,3	2,3	20

<sup>(1)</sup> análise não realizada

<sup>(2)</sup> g/kg (P, K, Ca)

Os elementos Ca, Mg e N estão em concentrações adequadas e não apresentam diferença significativa entre as plantas das duas áreas.

O elemento P, da mesma forma que no tratamento C da estufa, apresentou uma baixa concentração na matéria seca tanto na área 2C como na área 2NC, e como consequência ambas demonstraram pouca capacidade de armazenar amido (Fig. 08a - 08b). Para reverter esse quadro seria indicada a aplicação de adubo antes do plantio das mudas.

Outro elemento presente em baixa concentração nas plantas de ambas as áreas é o potássio. A absorção desse elemento é muito dependente da variação da temperatura, e isto pode ter afetado a absorção desse elemento, diferentemente do observado no experimento de estufa, no qual a temperatura era mais constante. Segundo WACHOWICZ e CARVALHO (2002), plantas deficientes em K apresentam maior sensibilidade à infestação de doenças, o que foi realmente observado pois as



plantas dessas duas áreas sofreram durante todo o período do experimento com a infestação por fungos comumente chamados por ferrugem.

O elemento Fe apesar de estar presente em grande quantidade no solo da área 2C não teve sua absorção elevada na mesma proporção.

O elemento Zn nas áreas 2C e 2NC, ao contrário do observado no experimento de estufa, apresentaram concentrações adequadas tanto no solo como nas plantas, de acordo com o apontado por TAIZ e ZEIGER (2004), que é de 20 ppm.

Os elementos Cu e Mn da mesma forma que o verificado no experimento de estufa se encontram em altas concentrações nas plantas tanto na área 2NC como na 2C. Isso se deve provavelmente ao baixo pH das duas áreas.

## 5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se indicar *C. xanthocara* como uma espécie apta para recompor áreas contaminadas por petróleo, por demonstrar tolerância a este tipo de contaminação.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto as plantas do experimento de estufa como as do experimento de campo não sofreram alterações danosas nas suas estruturas celulares. Somente utilizaram-se de estratégias adaptativas para garantir sua sobrevivência no solo contaminado, como a presença de compostos fenólicos, tanto no caule como nas raízes, modificações na área foliar e espessura foliar e a grande acumulação de elementos como zinco, cobre e magnésio sem sofrer injúrias. A adubação parece ter uma ação benéfica, pois com a sua adição ao solo as plantas passam a acumular substância de reserva, amido, e não metabólitos secundários como os compostos fenólicos. Esse experimento poderia ter sido mais conclusivo se o tempo de avaliação fosse mais longo. Principalmente por se tratar de uma espécie arbórea de crescimento lento, e os possíveis efeitos da contaminação sobre o desenvolvimento da espécie surgirem mais a longo prazo. Seria interessante que neste tipo de experimento também se realizasse um tratamento com solo não contaminado e contaminado com a correção do pH do solo, já que este influencia na disponibilidade dos elementos minerais do solo. Esses tratamentos talvez ajudassem a chegar em resultados mais conclusivos.

## REFERÊNCIAS

- ALVES DE BRITO, C. J. F.; ALQUINI, Y. A new method for staining botanical material embedded in glycol methacrylate (GMA). *Arq. Biol. Tecnol.*, v. 39 n.4, p. 949-950. 1996.
- ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). *Plant and Soil*, v. 123, p. 223-227. 1990.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphend oxidase in *Beta vulgares*. *Plant Physiology*, v. 24, p. 1-15. 1949.
- BAKER, A. J. M.; BROOKS, R. R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*. v. 1, p. 81-126. 1989.
- BARROSO, G. M. Sistemática de Angiospermas do Brasil. v.2 Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- BONA, C.; MORRETES, B. L. de. Anatomia das raízes de *Bacopa salzmanii* (Benth.) Wettst. Ex Edwall e *Bacopa monnierioides* (Cham.) Robinson (Scrophulariaceae) em ambientes aquático e terrestre. *Acta Bot. Bras.* v. 17 n.1, p. 155-170. 2003.
- BROWN, S. L.; CHANEY, R. L.; ANGLE, J. S.; BAKER A. J. M. Phytoremediation Potential of *Thlaspi caerulescens* and Bladder Campion for Zinc- and Cadmium-Contaminated Soil. *J. Environ. Qual*, v. 23, p. 1151-1157. 1994.
- BURNS, K.; A.; CODI, S.; DUKE, N. C. Gladstone, Australia field studies: Weathering and degradation of hydrocarbons in oiled mangrove and salt marsh sediments with and without the application of an experimental bioremediation protocol. *Marine Pollution Bulletin*, v. 41, p. 392-402. 2000.
- BUSCA Estado de São Paulo, busca sobre petróleo e derivados. Disponível em <<http://busca.estadao.com.br>> Acesso em 15 novembro 2002.
- CHANG, Y. et al. Effect of Al on the phytosiderophore-mediated solubilization of Fe and uptake of Fe-phytosiderophore complex in wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum*, v. 106, p. 62-68. 1999.
- CHESNIN, L.; YIEN, C. H. Turbidimetric determination of available sulfates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 15, p. 149-51. 1950.
- CHIARIELLO, N.R.; MOONEY, H. A.; WILLIAMS, K. Growth, carbon allocation and cost of plant tissues. In PERCY, R.W; ERLERINGER, J.R. *Plant Physiology Ecology: Field Methods and instrumentation*. New York, Chapman and Hall, 1989. p. 328-43.
- CHIAVENATO, J. J., O massacre da natureza. São Paulo, Moderna, 1989.

CLARKSON, D. T. The effect of aluminium and some trivalent metal cations on cell division in the roots apices of *Allium cepa*. *Ann. Bot.* v. 29, p. 309-315. 1965.

CRONQUIST, A. The evolution and classification of flowering plants. 2° ed. New York: The New York Botanical Garden, 1988.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. et al. Phytoremediation of Soils Contaminated with Organic Pollutants. *Advances in Agronomy*, Newark v. 56, p. 55-113. 1996.

— ENDRESS, R. *Plant Cell Biotechnology*. Germany, Springer-Verlag, 1994. 353p.

FAHN, A. *Secretory tissues in plants*. London: Academic, 1979.

FELDER, N.; O'BRIEN, T. P. Plant microtechnique some principles and new methods. *Amer. J. Bot.* v. 55 n.1, p. 123-142. 1968.

FOSTER, A. S. *Practical plant anatomy*. New York, 1949.

FOY et al. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* v; 29, p. 511-566. 1978.

GATLIF, E. G. Vegetative remediation process offers advantages over traditional pump-and-treat technologies. *Remed. Summer*, v. 4 (3), p. 343-352. 1994.

GOUDEY, J. S.; DALE, M.; HODDINOTT, J. The effects of oil spill chemicals on transpiration, CO<sub>2</sub> exchange, and cuticular structure in *Salix interior*. *Can. J. Bot.* v. 63, p. 2340-2344. 1985.

GOUVÊA, M. R. de. Estudo botânico e fitoquímico de *Campomanesia xanthocarpa* Berg (Myrtaceae), Curitiba, 2001. 67f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

— HAWK, P.B. *Practical Physiology Chemistry*. 12 ed. New York. McGraw Hill Company. 1947.

IVANOV, V. B. Root Growth Responses to Chemicals. *Sov. Sci. Rev. Sec. D: Biol. Rev.* v. 13, p. 1-70. 1994.

— JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique*. New York, Mc Graw Hill Book, 1940. 523p.

KULAKOW, P. Annual Report of the RTDF Phytoremediation Action Team-TPH Subgroup Cooperative Field Trials, 2000. Disponível on line: [www.rtdf.org/public](http://www.rtdf.org/public), acessado em novembro de 2001.

LANDRUM, L. R. *Campomanesia, Pimenta, Blepharocalyx, legrandia, Acca, Myrthinium, and Luma* (Myrtaceae). *Flora Neotropica*, New York, v. 45, p. 66-70. 1986

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, RiMa, 2000. 531p.

Li, H., YANG, X.; LUO, A. Ameliorating effect os potassium on iron toxicity in hybrid rice. *Journal of Plant Nutritiun*, v. 24(12), p. 1849-1860. 2001.

LINDERMAN, W. Observations on the behaviour of phosphate compounds in *Chlorella* at the transition from dark to the light. In: United Nations. ed. 2. United on the peacefull uses of Atomic energy. Genebra, v. 24, p. 8-15. 1958.

LINDNER, R. C. Rapid analtical methods for some of the more commom inoganic consituens of plant tissues. *Plant Physiology*, v. 19, p. 76-89. 1944.

LORENZI, H. *Árvores Brasileiras; Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil*, ed. Plantarum LTDA, 1992.

MACVAUGH, R. Tropical American *Myrtaceae* II. *Fieldiana, Bot.* v. 29, n.8, p. 393-532. 1963.

MALALLAH, G.; AFZAL, M; GULSHAN, S; KURIAN, M.; DHAMI, M. S.I. *Vicia faba* as a bioindicator of oil pollution *Environ. Pollut.* v. 92, p. 213-217. 1995.

MALAVOLTA, E. *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARCHIORI, J. N.; SOBRAL, M. *Dendrologia das Angiospermas - Myrtales*. Santa Maria: ed da Universidade Federal de Santa Maria, 1997

MIELNICZUC, C. A população microbiana e a degradação de resíduo petroquímico no solo. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1991.

MORENO, J. L.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; PASCUAL, J. A.; Transference of heavy meals from a calcareous soil amended with sewage-sludge compost to barley plants. *Bioresource tchnology*. v. 55, p. 251-258. 1996.

PANDOLFINI, T., Gabbrielli, R.; Comparini, C. Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum*. *L. Plant. Cell. Environ.* v. 15, p. 719-725. 1992.

PASSOS, R. R.; RUIZ, A. H. Seleção de acessos de arroz visnado a tolerância ao ferro. *Revista Ceres*. v. 255, p. 510-519. 1997.

PEZESKKI, S R.; DeLAUNE, R.D.; JUGSUJINDA, A. The effects of crude oil and the effectivceness of cleaned application following oiling on US Gulf of México coastal marsh plants. *Environ. Pollut.* v. 112, p. 483-489. 2000.

PIICCINI, D. F.; MALAVOLTA, E. Effect of Nickel on two common bean cultivars. *J. Plant Nutr.* v. 15, p. 2.343-2.356. 1992.

RAUSER, W. E. Early effects of phytotoxic burdens of cadmium, cobalt, nickel and zinc in white beans. *Can. J. Bot.* v. 56, p. 1744-1749. 1978.

➤ ROTH, I. *Microtecnica vegetal*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1964.

ROY, A. K., SHARMA, A.; TALUKDER, G. Some aspects of aluminium toxicity in plants. *Bot. Rev.* v. 54, p.145-178. 1988.

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

SEREGIN, I. V.; IVANOV, V. B. Is the Endodermal Barrier the Only Factor Preventing the Inhibition of Root Branching by Heavy Metal Salts? *Russian Journal of Plant Physiology*. v. 44, p. 797-800. 1997.

SOUZA, S.L. *Revegetação de área de biorremediação contaminada por resíduos oleosos de petróleo*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre, Artmed, 3.ed., 2004. 719p.

WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. de. *Fisiologia Vegetal, produção e pós-colheita*. ed. Champagnat, 2002. 424p.

WITKOWSKI, E.T.F. ; LAMONT, B.B. Leaf Specific mass confounds leaf density and trickness. *Berlin & Oecologia*, v. 88. 1991.

ZORNOZA, P.; ROBLES, S.; MARTIN, N. Alleviation of nickel toxicity by ammonium suplie to sunflower plants. *Plant and Soil*. v. 208, p. 221-226, 1999.

ANEXO



## ANÁLISE ESTATÍSTICA EXPERIMENTO DE ESTUFA

Variable (clorofila b)

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	1766.236	588.745	8.150	0.0005
Within	28	2022.669	72.238		
Total	31	3788.905			

Coefficient of Variation = 33.57%

Var. 1	VARIABLE		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	218.130	27.266	7.30	3.00
7	8.00	283.970	35.496	13.37	3.00
8	8.00	118.319	14.790	4.24	3.00
9	8.00	189.780	23.723	6.24	3.00
Total	32.00	810.199	25.319	11.06	1.95
Within				8.50	

Bartlett's test

Chi-square = 9.277

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila a)

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	14032.828	4677.609	7.865	0.0006
Within	28	16653.265	594.759		
Total	31	30686.093			

Coefficient of Variation = 34.30%

Var. 1	VARIABLE		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	623.900	77.987	22.78	8.62
7	8.00	795.202	99.400	37.94	8.62
8	8.00	332.310	41.539	10.75	8.62
9	8.00	523.620	65.453	17.48	8.62
Total	32.00	2275.032	71.095	31.46	5.56
Within				24.39	

## Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 10.294  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila total)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	25799.400	8599.800	7.976	0.0005
Within	28	30190.670	1078.238		
Total	31	55990.070			

Coefficient of Variation = 34.06%

Var. 1	V A R I A B L E				
	Number	Sum	Average	SD	SE
6	8.00	841.989	105.249	29.92	11.61
7	8.00	1079.185	134.898	51.28	11.61
8	8.00	449.952	56.244	15.03	11.61
9	8.00	713.501	89.188	23.71	11.61
Total	32.00	3084.627	96.395	42.50	7.51
Within				32.84	

## Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 9.966  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.000

Variable (LOG(CLO B))

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	0.587	0.196	11.663	0.0000
Within	28	0.470	0.017		
Total	31	1.056			

Coefficient of Variation = 9.48%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	11.386	1.423	0.11	0.05
7	8.00	12.195	1.524	0.16	0.05
8	8.00	9.232	1.154	0.13	0.05
9	8.00	10.891	1.361	0.12	0.05
Total	32.00	43.704	1.366	0.18	0.03
Within				0.13	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 1.097  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.302

Variable (LOG(CLO A))

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	0.584	0.195	11.136	0.0001
Within	28	0.490	0.017		
Total	31	1.074			

Coefficient of Variation = 7.29%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	15.015	1.877	0.12	0.05
7	8.00	15.771	1.971	0.16	0.05
8	8.00	12.831	1.604	0.13	0.05
9	8.00	14.413	1.802	0.12	0.05
Total	32.00	58.030	1.813	0.19	0.03
Within				0.13	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 0.754  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.561

Variable (LOG(CLO TOTAL))

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	0.588	0.196	11.298	0.0000
Within	28	0.486	0.017		
Total	31	1.074			

Coefficient of Variation = 6.77%

Var. 1	VARIABLE		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	16.064	2.008	0.12	0.05
7	8.00	16.832	2.104	0.16	0.05
8	8.00	13.878	1.735	0.13	0.05
9	8.00	15.490	1.936	0.12	0.05
Total	32.00	62.264	1.946	0.19	0.03
Within				0.13	

Bartlett's test

Chi-square = 0.826  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.507

Variable (Estomatos)

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	40.389	13.463	7.522	0.0008
Within	28	50.112	1.790		
Total	31	90.501			

Coefficient of Variation = 15.63%

Var. 1	VARIABLE		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	73.020	9.128	0.96	0.47
7	8.00	79.200	9.900	1.69	0.47
8	8.00	66.700	8.338	0.90	0.47
9	8.00	54.900	6.862	1.61	0.47

Total	32.00	273.820	8.557	1.71	0.30
Within				1.34	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 4.148  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.000

Variable (espessura foliar)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	2060.832	686.944	4.821	0.0079
Within	28	3989.890	142.496		
Total	31	6050.722			

Coefficient of Variation = 9.33%

Var. 1	V A R I A B L E				
	Number	Sum	Average	SD	SE
6	8.00	1128.600	141.075	9.80	4.22
7	8.00	1024.120	128.015	10.58	4.22
8	8.00	977.820	122.227	10.61	4.22
9	8.00	965.580	120.698	15.79	4.22
Total	32.00	4096.120	128.004	13.97	2.47
Within				11.94	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 2.055  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco raiz)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	206.210	68.737	5.609	0.0038
Within	28	343.141	12.255		
Total	31	549.351			

Coefficient of Variation = 32.26%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	70.650	8.831	2.03	1.24
7	8.00	86.640	10.830	2.56	1.24
8	8.00	120.030	15.004	5.14	1.24
9	8.00	69.930	8.741	3.46	1.24
Total	32.00	347.250	10.852	4.21	0.74
Within				3.50	

Bartlett's test

Chi-square = 6.470

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco total)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	337.856	112.619	3.160	0.0401
Within	28	997.914	35.640		
Total	31	1335.770			

Coefficient of Variation = 27.05%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	169.120	21.140	4.94	2.11
7	8.00	183.340	22.917	7.60	2.11
8	8.00	212.910	26.614	6.43	2.11
9	8.00	140.780	17.597	4.38	2.11
Total	32.00	706.150	22.067	6.56	1.16
Within				5.97	

Bartlett's test

Chi-square = 2.452

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.000

Variable (area foliar)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	541.229	180.410	5.444	0.0045
Within	28	927.916	33.140		
Total	31	1469.145			

Coefficient of Variation = 19.00%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	189.740	23.717	5.28	2.04
7	8.00	279.360	34.920	6.10	2.04
8	8.00	244.430	30.554	5.19	2.04
9	8.00	256.060	32.007	6.37	2.04
Total	32.00	969.590	30.300	6.88	1.22
Within				5.76	

Bartlett's test

Chi-square = 0.418

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.800

Variable (peso foliar)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	0.041	0.014	5.965	0.0028
Within	28	0.064	0.002		
Total	31	0.105			

Coefficient of Variation = 22.17%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	1.280	0.160	0.05	0.02

7	8.00	2.070	0.259	0.05	0.02
8	8.00	1.830	0.229	0.04	0.02
9	8.00	1.730	0.216	0.06	0.02
-----					
Total	32.00	6.910	0.216	0.06	0.01
Within				0.05	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 0.774  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.547

Variable (area foliar total)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	287164.307	95721.436	1.326	0.2857
Within	28	2021092.466	72181.874		
-----					
Total	31	2308256.774			

Coefficient of Variation = 35.27%

Var. 1	V A R I A B L E				
	Number	Sum	Average	SD	SE
6	8.00	7213.523	901.690	327.25	94.99
7	8.00	6345.631	793.204	280.93	94.99
8	8.00	5545.308	693.163	224.84	94.99
9	8.00	5269.620	658.702	228.40	94.99
-----					
Total	32.00	24374.082	761.690	272.87	48.24
Within				268.67	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 1.303  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.147

Variable (peso foliar total)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	15.030	5.010	1.471	0.2437
Within	28	95.350	3.405		
-----					
Total	31	110.380			



Coefficient of Variation = 34.73%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	47.390	5.924	2.07	0.65
7	8.00	47.170	5.896	2.34	0.65
8	8.00	41.550	5.194	1.69	0.65
9	8.00	33.920	4.240	0.99	0.65
Total	32.00	170.030	5.313	1.89	0.33
Within				1.85	

Bartlett's test

Chi-square = 4.711

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.000

Variable (psa/psr)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	0.901	0.300	1.634	0.2039
Within	28	5.149	0.184		
Total	31	6.050			

Coefficient of Variation = 38.33%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	10.342	1.293	0.60	0.15
7	8.00	9.730	1.216	0.27	0.15
8	8.00	6.790	0.849	0.32	0.15
9	8.00	8.940	1.117	0.45	0.15
Total	32.00	35.802	1.119	0.44	0.08
Within				0.43	

Bartlett's test

Chi-square = 4.868

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.000

Variable (diferença diâmetro)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	9.213	3.071	1.790	0.1719
Within	28	48.028	1.715		
Total	31	57.241			

Coefficient of Variation = 22.46%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
6	8.00	48.600	6.075	1.10	0.46
7	8.00	46.320	5.790	1.66	0.46
8	8.00	51.680	6.460	1.19	0.46
9	8.00	39.980	4.997	1.22	0.46
Total	32.00	186.580	5.831	1.36	0.24
Within				1.31	

Bartlett's test

Chi-square = 1.417  
 Number of Degrees of Freedom = 3  
 Approximate significance = 0.062

Variable (diferença altura)

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	3	571.528	190.509	0.973	
Within	28	5483.188	195.828		
Total	31	6054.715			

Coefficient of Variation = 30.87%

Var. V A R I A B L E

1	Number	Sum	Average	SD	SE
6	8.00	322.600	40.325	12.08	4.95
7	8.00	365.000	45.625	13.52	4.95
8	8.00	415.100	51.888	14.80	4.95
9	8.00	348.100	43.513	15.36	4.95
Total	32.00	1450.800	45.338	13.98	2.47
Within				13.99	

Bartlett's test

-----  
Chi-square = 0.440

Number of Degrees of Freedom = 3

Approximate significance = 0.786

## ANÁLISE ESTATÍSTICA EXPERIMENTO DE CAMPO

Variable (area foliar total) área 2C e 2NC

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	1107819.398	1107819.398	6.573	0.0225
Within	14	2359500.607	168535.758		
Total	15	3467320.005			

Coefficient of Variation = 81.53%

Var.	VARIABLE		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
1	8.00	6133.210	766.651	574.49	145.14
2	8.00	1923.090	240.386	83.87	145.14
Total	16.00	8056.300	503.519	480.79	120.20
Within				410.53	

Bartlett's test

Chi-square = 16.362

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (area foliar) área 3C e 3NC

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	100.802	100.802	10.509	0.0059
Within	14	134.292	9.592		
Total	15	235.094			

Coefficient of Variation = 20.93%

Var.	VARIABLE		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
3	8.00	98.310	12.289	2.54	1.10
4	8.00	138.470	17.309	3.57	1.10
Total	16.00	236.780	14.799	3.96	0.99
Within				3.10	

Bartlett's test

Chi-square = 0.745

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (espessura foliar)área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	6231.524	6231.524	33.418	0.0000
Within	14	2610.604	186.472		
Total	15	8842.129			

Coefficient of Variation = 10.68%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
1	8.00	1181.020	147.628	18.86	4.83
2	8.00	865.260	108.157	4.14	4.83
Total	16.00	2046.280	127.892	24.28	6.07
Within				13.66	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 11.366  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco raiz)área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	81.437	81.437	6.266	0.0253
Within	14	181.957	12.997		
Total	15	263.395			

Coefficient of Variation = 74.70%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
1	8.00	56.657	7.082	5.01	1.27
2	8.00	20.560	2.570	0.95	1.27
Total	16.00	77.217	4.826	4.19	1.05
Within				3.61	

Bartlett's test

-----

Chi-square = 13.085  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco total)área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	1345.789	1345.789	9.242	0.0088
Within	14	2038.698	145.621		
Total	15	3384.487			

Coefficient of Variation = 81.20%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
1	8.00	192.260	24.032	16.95	4.27
2	8.00	45.520	5.690	1.96	4.27
Total	16.00	237.780	14.861	15.02	3.76
Within				12.07	

Bartlett's test

Chi-square = 19.276  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (espessura foliar)área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	7522.961	7522.961	29.279	0.0001
Within	14	3597.130	256.938		
Total	15	11120.091			

Coefficient of Variation = 12.65%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
3	8.00	1187.120	148.390	19.73	5.67
4	8.00	840.180	105.022	11.16	5.67
Total	16.00	2027.300	126.706	27.23	6.81
Within				16.03	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 2.018  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco raiz) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	2.822	2.822	0.589	
Within	14	67.088	4.792		
Total	15	69.910			

Coefficient of Variation = 55.07%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
3	8.00	35.160	4.395	2.58	0.77
4	8.00	28.440	3.555	1.71	0.77
Total	16.00	63.600	3.975	2.16	0.54
Within				2.19	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 1.082  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco total) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	96.334	96.334	5.754	0.0309
Within	14	234.382	16.742		
Total	15	330.716			

Coefficient of Variation = 44.00%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
3	8.00	94.020	11.752	5.15	1.45
4	8.00	54.760	6.845	2.64	1.45
Total	16.00	148.780	9.299	4.70	1.17
Within				4.09	

Bartlett's test

-----  
Chi-square = 2.711

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (area foliar) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	24.059	24.059	1.624	0.2232
Within	14	207.359	14.811		
Total	15	231.418			

Coefficient of Variation = 30.50%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
1	8.00	110.770	13.846	4.78	1.36
2	8.00	91.150	11.394	2.61	1.36
Total	16.00	201.920	12.620	3.93	0.98
Within				3.85	

Bartlett's test

-----  
Chi-square = 2.264

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (peso foliar) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	0.018	0.018	10.927	0.0052
Within	14	0.023	0.002		
Total	15	0.042			

Coefficient of Variation = 39.36%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
1	8.00	1.100	0.137	0.05	0.01
2	8.00	0.560	0.070	0.02	0.01
Total	16.00	1.660	0.104	0.05	0.01
Within				0.04	



Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 7.022  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso foliar total) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	147.926	147.926	5.663	0.0321
Within	14	365.683	26.120		
Total	15	513.610			

Coefficient of Variation = 113.27%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
1	8.00	60.420	7.552	7.21	1.81
2	8.00	11.770	1.471	0.53	1.81
Total	16.00	72.190	4.512	5.85	1.46
Within				5.11	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 25.058  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila b) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	691.427	691.427	3.530	0.0813
Within	14	2742.274	195.877		
Total	15	3433.701			

Coefficient of Variation = 31.90%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
1	8.00	298.390	37.299	7.40	4.95
2	8.00	403.570	50.446	18.36	4.95
Total	16.00	701.960	43.872	15.13	3.78
Within				14.00	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 4.783  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila a) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	5571.502	5571.502	4.018	0.0647
Within	14	19411.134	1386.510		
Total	15	24982.636			

Coefficient of Variation = 32.98%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
1	8.00	753.900	94.238	17.26	13.16
2	8.00	1052.470	131.559	49.75	13.16
Total	16.00	1806.370	112.898	40.81	10.20
Within				37.24	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 6.263  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila total) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	10198.525	10198.525	3.917	0.0678
Within	14	36447.501	2603.393		
Total	15	46646.027			

Coefficient of Variation = 32.55%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
1	8.00	1052.179	131.522	23.99	18.04
2	8.00	1456.130	182.016	68.05	18.04
Total	16.00	2508.309	156.769	55.76	13.94

Within

51.02

Bartlett's test

-----  
Chi-square = 6.098

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco aéreo/peso seco raiz) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	7.331	7.331	32.723	0.0001
Within	14	3.136	0.224		
Total	15	10.467			

Coefficient of Variation = 24.84%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
1	8.00	20.660	2.583	0.65	0.17
2	8.00	9.830	1.229	0.15	0.17
Total	16.00	30.490	1.906	0.84	0.21
Within				0.47	

Bartlett's test

-----  
Chi-square = 10.443

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (diferença diametro) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	46.376	46.376	29.979	0.0001
Within	14	21.657	1.547		
Total	15	68.033			

Coefficient of Variation = 29.01%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
1	8.00	47.920	5.990	1.63	0.44
2	8.00	20.680	2.585	0.67	0.44

Total	16.00	68.600	4.287	2.13	0.53
Within				1.24	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 4.614  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (diferença altura) área 2C e 2NC

A N A L Y S I S   O F   V A R I A N C E   T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	566.083	566.083	9.568	0.0079
Within	14	828.310	59.165		
Total	15	1394.393			

Coefficient of Variation = 32.83%

Var. 1	V A R I A B L E				
	Number	Sum	Average	SD	SE
1	8.00	235.000	29.375	8.69	2.72
2	8.00	139.830	17.479	6.54	2.72
Total	16.00	374.830	23.427	9.64	2.41
Within				7.69	

Bartlett's test

-----  
 Chi-square = 0.521  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (area foliar) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S   O F   V A R I A N C E   T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	100.802	100.802	10.509	0.0059
Within	14	134.292	9.592		
Total	15	235.094			

Coefficient of Variation = 20.93%

Var. 1	V A R I A B L E				
	Number	Sum	Average	SD	SE
3	8.00	98.310	12.289	2.54	1.10

4	8.00	138.470	17.309	3.57	1.10
Total	16.00	236.780	14.799	3.96	0.99
Within				3.10	

Bartlett's test

Chi-square = 0.745  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000  
 Variable (peso foliar)área 3C e 3NC

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	0.000	0.000	0.361	
Within	14	0.012	0.001		
Total	15	0.012			

Coefficient of Variation = 30.88%

Var.	VARIABLE				
1	Number	Sum	Average	SD	SE
3	8.00	0.790	0.099	0.03	0.01
4	8.00	0.720	0.090	0.03	0.01
Total	16.00	1.510	0.094	0.03	0.01
Within				0.03	

Bartlett's test

Chi-square = 0.343  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (area foliar total)área 3C e 3NC

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	89209.738	89209.738	2.512	0.1353
Within	14	497142.977	35510.213		
Total	15	586352.715			

Coefficient of Variation = 52.53%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
3	8.00	3467.000	433.375	244.06	66.62
4	8.00	2272.280	284.035	107.04	66.62
Total	16.00	5739.280	358.705	197.71	49.43
Within				188.44	

Bartlett's test

Chi-square = 4.011

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (peso foliar total)área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	16.241	16.241	5.687	0.0318
Within	14	39.978	2.856		
Total	15	56.219			

Coefficient of Variation = 67.49%

Var. 1	V A R I A B L E		Average	SD	SE
	Number	Sum			
3	8.00	28.090	3.511	2.31	0.60
4	8.00	11.970	1.496	0.62	0.60
Total	16.00	40.060	2.504	1.94	0.48
Within				1.69	

Bartlett's test

Chi-square = 9.105

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila b) área 3C e 3NC

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	16757.949	16757.949	42.846	0.0000
Within	14	5475.677	391.120		
Total	15	22233.626			

Coefficient of Variation = 21.88%

Var. 1	VARIABLE		Average	SD	SE
	Number	Sum			
3	8.00	464.150	58.019	8.76	6.99
4	8.00	981.960	122.745	26.56	6.99
Total	16.00	1446.110	90.382	38.50	9.62
Within				19.78	

Bartlett's test

Chi-square = 6.784

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila a) área 3C e 3NC

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	81015.663	81015.663	30.208	0.0001
Within	14	37547.375	2681.955		
Total	15	118563.038			

Coefficient of Variation = 24.21%

Var. 1	VARIABLE		Average	SD	SE
	Number	Sum			
3	8.00	1141.690	142.711	36.95	18.31
4	8.00	2280.220	285.028	63.23	18.31
Total	16.00	3421.910	213.869	88.91	22.23
Within				51.79	

Bartlett's test

Chi-square = 1.801

Number of Degrees of Freedom = 1

Approximate significance = 0.000

Variable (clorofila total) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	171465.562	171465.562	38.767	0.0000
Within	14	61922.214	4423.015		
Total	15	233387.776			

Coefficient of Variation = 21.86%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
3	8.00	1605.876	200.734	45.37	23.51
4	8.00	3262.212	407.777	82.39	23.51
Total	16.00	4868.088	304.255	124.74	31.18
Within				66.51	

Bartlett's test

Chi-square = 2.200  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (peso seco aéreo/peso seco raiz) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	3.115	3.115	3.112	0.0995
Within	14	14.014	1.001		
Total	15	17.129			

Coefficient of Variation = 64.86%

Var.	V A R I A B L E		Average	SD	SE
1	Number	Sum			
3	8.00	15.870	1.984	1.30	0.35
4	8.00	8.810	1.101	0.55	0.35
Total	16.00	24.680	1.543	1.07	0.27
Within				1.00	

Bartlett's test

Chi-square = 4.372



Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (diferença diametro) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	2.148	2.148	3.127	0.0988
Within	14	9.616	0.687		
Total	15	11.763			

Coefficient of Variation = 27.14%

Var.	V A R I A B L E				
1	Number	Sum	Average	SD	SE
3	8.00	27.362	3.420	1.15	0.29
4	8.00	21.500	2.688	0.23	0.29
Total	16.00	48.862	3.054	0.89	0.22
Within				0.83	

Bartlett's test

Chi-square = 12.463  
 Number of Degrees of Freedom = 1  
 Approximate significance = 0.000

Variable (diferença altura) área 3C e 3NC

A N A L Y S I S O F V A R I A N C E T A B L E					
	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-value	Prob.
Between	1	41.409	41.409	0.388	
Within	14	1493.447	106.675		
Total	15	1534.856			

Coefficient of Variation = 50.33%

Var. V A R I A B L E

1	Number	Sum	Average	SD	SE
3	8.00	177.040	22.130	10.97	3.65
4	8.00	151.300	18.912	9.64	3.65
Total	16.00	328.340	20.521	10.12	2.53
Within				10.33	

Bartlett's test

-----  
Chi-square = 0.109  
Number of Degrees of Freedom = 1  
Approximate significance = 0.187