

CRESCIMENTO E TROCAS DE CO₂ DE PLANTAS JOVENS DE ERVA-MATE CULTIVADAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

EFFECT OF DIFFERENT SOIL WATER AVAILABLE LEVELS ON THE GROWTH AND ON THE CO₂ EXCHANGE OF YOUNG "ERVA-MATE" PLANTS

José Carlos PINTRO¹
Feliciano Edi Vieira FLORES²

RESUMO

Mudas de erva-mate foram cultivadas durante um período de 315 dias sob condições de diferentes níveis de disponibilidade de água do solo: tratamento 1 (T-1): teor de água do substrato a -0,03 MPa; tratamento 2 (T-2): teor de água do substrato correspondente a 80% de T-1 e tratamento 3 (T-3): teor de água do substrato correspondente a 65% do valor de T-1. Foram avaliados os seguintes parâmetros: altura das plantas, número de folhas, área foliar, conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas e trocas de CO₂. Os valores da altura do caule, do número de folhas e da área foliar foram significativamente superiores no T-2 em relação aos tratamentos T-1 e T-3. Os valores de trocas de CO₂ não diferiram significativamente entre os tratamentos. No entanto, a redução dos valores de CO₂ de 2 para 4 dias após a irrigação foi de 39% em T-1, 15% em T-2 e 35% em T-3. Os valores de CRA nas folhas se reduziram com o tempo após a irrigação, cujos valores de redução foram de 4,5 T-1, 5,5 T-2 e 6,8 T-3. As melhores condições de disponibilidade de água do substrato no tratamento T-2 parecem ter sido as causas do maior crescimento das mudas de erva-mate em relação aos tratamentos T-1 e T-3.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*, estresse hídrico, fotossíntese, crescimento.

ABSTRACT

The influence of different levels of soil water availability on the growth, CO₂ exchange, and the leaves relative water content (RWC) of young plants of "erva-mate" (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) were studied under controlled conditions during a period of 315 days. The foreseen treatments corresponded to 3 water available levels for plants: treatment 1 (T-1): soil moisture at -0.03 MPa, treatment 2 (T-2): soil moisture at 80% of water quantity used in T-1, and treatment 3 (T-3): soil moisture at 65% of water quantity used in T-1. The height of the plants, the number of the leaves, the total leaf area, the exchange of CO₂, and the RWC in the leaves were evaluated. The best results, with significant increment of the values of height, number of the leaves, and total leaf area were verified in treatment T-2 in relation to T-1 and T-3. The values of leaves CO₂ exchange were not significantly different among the treatments. However, the reductions of the CO₂ exchange values from 2 to 4 days after irrigation were 39% in T-1, 15% in T-2, and 35% in T-3. The RWC values reduced with time after irrigation. The reductions were 4.55 in T-1, 5.48% in T-2, and 6.85% in T-3. The best conditions of soil availability and the adaptation of photosynthetic process verified in the treatment T-2 could be justified the better growth of "erva-mate" plants in relation to treatments T-1 and T-3.

Key-words: *Ilex paraguariensis*, water stress, photosynthesis, growth.

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-Paraná, Brazil, jcpintro@uem.br;

²Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91540-000 Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil.

INTRODUÇÃO

A maior parte da bibliografia sobre a erva-mate aborda aspectos da história, da exploração e da comercialização (CLOS, 1941; LINHARES, 1969; MAZUCHOWSKI, 1991; COSTA, 1995; PINTRO e FLORES, 1999). Em vista da viabilidade econômica desta espécie e da importância ecológica tornam-se necessários estudos que abordem aspectos da sua fisiologia.

Em teoria, a água no solo está disponível para as plantas entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). O déficit hídrico na planta decorre de uma taxa de transpiração excessiva, de uma taxa de absorção insuficiente ou pela combinação de ambos os processos (JUNG e SCOTT, 1980; KOZLOWSKI *et al.*, 1991). Kimani *et al.* (1994) estudaram os efeitos de dois ciclos de estresse hídrico seguidos de irrigação do substrato em 4 variedades de *Cajanus cajan* (L.) Mill. O menor valor do conteúdo relativo de água nas folhas novas foi de 40% nos dois ciclos. Mesmo assim, os valores do conteúdo relativo de água (CRA) ficaram acima do nível crítico. Quanto aos valores de trocas de CO₂, apresentaram redução com o período de déficit hídrico. Allen *et al.* (1994) observaram que, com o aumento do período de déficit hídrico (13 dias), houve uma redução significativa dos valores de fotossíntese, transpiração e eficiência do uso de água, em relação às plantas controle, em *Glycine max.* (L.) Merr. Lee *et al.* (1994) constataram, para esta mesma espécie, que durante os 4 primeiros dias de déficit, de um total de 13 dias, não foi observado redução nos valores de fotossíntese. No entanto, a partir do quinto dia os valores apresentaram redução significativa, chegando a um valor de redução de até 90%. A diferença do potencial de água nas plantas de *Alnus rubra* submetidas a dois níveis de disponibilidade de água no substrato durante nove semanas foi de apenas 0,04 Mpa (HAWKINS e MCDONALD, 1994). Essa diferença não foi suficiente para proporcionar efeitos de diferenças significativas no crescimento e nas taxas de fotossíntese. Machado *et al.* (1992) estudaram a influência de dois níveis de disponibilidade de água no solo no crescimento de dois híbridos de *Zea mays* L (Pionner 3072 e IAC 701xB). As maiores reduções nos valores de fotossíntese foram verificadas no híbrido IAC 701xB.

O excesso de água no solo apresenta também efeitos negativos sobre a fisiologia das plantas, devido, principalmente, à menor disponibilidade de oxigênio para as raízes (MUSGRAVE, 1994). No entanto, estudos realizados com plantas de buriti (*Mauritia vinifera* Mart.) submetidas à um período de inundação de 36 dias, não foram constatadas reduções nos valores de transpiração, condutância estomática e fotossíntese líquida (CALBO *et al.*, 1998).

O objetivo deste trabalho foi determinar a influência de diferentes valores de disponibilidade de água no solo e do tempo de estresse hídrico no crescimento e nas trocas de CO₂ de plantas jovens de erva-mate.

MATERIAL E MÉTODOS

As mudas de erva-mate foram cultivadas, durante 315 dias, em vasos plásticos com capacidade de 1,5 kg de substrato, apresentando valor máximo de retenção de água de 21 g de água por 100 g de solo, a -0,03 MPa, sob condições controladas. Os tratamentos corresponderam a 3 níveis de disponibilidade de água para as plantas: tratamento T-1 teor de água do substrato a -0,03 MPa; tratamento T-2 80% da quantidade de água usada em T-1 e tratamento T-3 65% da quantidade de água usada em T-1. Semanalmente, quantidades de água foram adicionadas aos vasos para restabelecer os níveis de umidade previstos nos tratamentos T-1, T-2 e T-3. O delineamento experimental foi completamente casualizado, com 25 repetições, totalizando 75 unidades experimentais. No final do período experimental várias determinações dos parâmetros de crescimento foram realizadas: altura das plantas, número de folhas, área foliar, conteúdo relativo de água (CRA) e análises de trocas de CO₂. Para a determinação da área foliar foi utilizado o método de comparação de área com moldes (fotocópias) de folhas de erva-mate de área conhecida. As áreas de 29 tamanhos diferentes e crescentes (de 0,015 a 0,53 dm²) das folhas foram determinadas por Kaspary (1985), utilizando-se um medidor de área foliar (LI-COR, modelo LI-3000). No presente trabalho, as folhas de erva-mate foram comparadas com os moldes fotocopiados e tomada a área de maior semelhança. A área total de cada planta correspondeu ao somatório de todas as folhas. Para as leituras de trocas de CO₂, foram sorteados dois vasos de cada tratamento. De cada vaso retirou-se uma folha. As folhas utilizadas estavam situadas entre as posições quatro e seis do caule principal, no sentido ápice-base. Para evitar efeitos de mudanças bruscas de ambiente e possibilitar condições fisiológicas comparáveis antes das medidas de trocas de CO₂, as amostras (vasos) passaram por um período de 48 h em uma câmara de crescimento nas seguintes condições: temperatura 30±2 °C (dia) e 20±2 °C (noite), fotoperíodo de 14h, umidade relativa 60% (dia) e 80% (noite) e intensidade do fluxo de fótons de 100 μmol m⁻² s⁻¹. Durante as medidas de fotossíntese, a intensidade do fluxo de fótons foi de 330 μmol m⁻² s⁻¹, utilizando-se de uma lâmpada de gás de mercúrio (OSRAM – HQIL, 700 W). As variações na concentração de CO₂ foram medidas utilizando-se um analisador de gás infravermelho (LEYBOLD-HERAEUS, BINOS UV-VIS) acoplado a um registrador (KIPP e ZONEN, modelo BD-9). Pela utilização do método de comparação de gás (BOURDEAU e WOODSELL, 1965), os valores registrados representavam a diferença entre a concentração de CO₂ antes e depois de passar pela amostra iluminada. As amostras (folhas destacadas – a seção de corte do pecíolo foi selada com vaselina para evitar perda de água) foram colocadas em uma cápsula de “plexiglass” (volume 585 cm³) mantida à temperatura de 20 °C em um banho termo-controlado

por um criotermostato (COLORA, modelo WK-6). A altura da coluna de água acima da cubeta foi de 2 a 3 cm. Através da cápsula, ar atmosférico era bombeado num fluxo de 39,5 L h⁻¹, medida por um fluxômetro (ROTA, Rotameter). Para evitar variações bruscas na concentração de CO₂ atmosférico, o ar passava por um frasco homogeneizador de grande volume onde era também filtrado. A umidade no sistema foi controlada por colunas dessecadoras e por abaixamento de temperatura. Os valores de taxa fotossintética foram calculados considerando o período de maior absorção de CO₂ registrado em cada medida e expressos em mg CO₂ h⁻¹ (SESTAK *et al.*, 1971). O peso fresco das folhas foi determinado logo antes das medidas de trocas de CO₂. As mesmas folhas foram utilizadas para a determinação do CRA. Para isso, após as medições, as folhas foram mantidas, por 24 h e no escuro, em placas de Petry com papel de filtro umedecido formando um ambiente saturado para a obtenção do peso túrgido. Após 48 h em estufa de circulação de ar na temperatura de 75±3°C foi determinado o peso seco. O CRA foi determinado de acordo

com a seguinte equação de Weatherley (1950):

$$\text{CRA} = \frac{(\text{Peso Fresco} - \text{Peso Seco})}{(\text{Peso Túrgido} - \text{Peso Seco})} \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tratamento T-1 as mudas de erva-mate responderam com uma melhor performance da altura do caule das plantas, do número de folhas e da área foliar em relação aos tratamentos T-1 e T-3 (Tabela 1). O maior incremento de área foliar foi consequência do maior número de folhas por planta. Quando se considerou a área foliar média calculada (área foliar total/número de folhas por planta) os valores (dm² folha⁻¹) foram muito próximos entre os tratamentos: 0,243 (T-1), 0,258 (T-2) e 0,251 (T-3).

TABELA 1 – Parâmetros de crescimento das plantas de erva-mate cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, em relação a capacidade de campo (CC) durante 315 dias.

Tratamentos	Altura das plantas (cm)	Número de folhas	Área foliar (dm ² planta ⁻¹)
T-1 (100% CC)	19,9 b	15,0 b	3,65 b
T-2 (80% CC)	32,0 a	21,1a	5,45 a
T-3 (65% CC)	18,3 b	12,4 b	3,11 b

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncam a 5% de probabilidade.

Os resultados dos valores médios de trocas de CO₂ são apresentados na Tabela 2. Em que pese os valores apresentados corresponderem a tratamentos sob déficit hídrico de tempo, eles são inferiores

em relação àqueles verificados para espécies anuais cultivadas e também submetidas a período de déficit hídrico (MACHADO *et al.*, 1992; KUMAR *et al.*, 1994; LEE *et al.*, 1994).

TABELA 2 – Trocas gasosas (mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹) de folhas de plantas de erva-mate, cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, em relação a capacidade de campo (CC), 2 e 4 dias após a irrigação.

Dias após a irrigação	Tratamentos			Média
	T-1 100% CC	T-2 80% CC	T-3 65% CC	
2	2,4	1,9	2,0	2,1 A
4	1,4	1,6	1,3	1,4 B
Média	1,9 a	1,8 a	1,6 a	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Duncam a 5% de probabilidade.

Os valores das médias de trocas de CO₂ não diferiram entre os tratamentos e foram de 1,9; 1,8; e 1,6 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, para T-1, T-2 e T-3, respectivamente. No entanto, a média de troca de CO₂ aos 4

dias de déficit hídrico foi significativamente inferior em relação ao valor aos 2 dias, com uma redução de 31% (Tabela 2). Resultados com a mesma tendência de redução da fotossíntese em função do aumento

do período de déficit hídrico foram constatados por Kimani *et al.* (1994) em *Cajanus cajan*, Machado *et al.* (1992) em *Zea mays*, Allen *et al.* (1994) em *Glycine max*, entre outros. Com o déficit hídrico na planta, a taxa de fotossíntese é diminuída devido ao fechamento dos estômatos, com o conseqüente aumento das resistência estomática (ou redução da condutância estomática (CORLETT *et al.*, 1994; LEE *et al.*, 1994; KIMANI *et al.*, 1994).

Tal como nas trocas de CO₂, o conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de erva-mate apresentou diferença significativa entre as médias de

2 e 4 dias após a irrigação, mas não diferiu significativamente entre os tratamentos. A redução do valor médio de CRA do segundo para o quarto dia após a irrigação foi de 5,8% (Tabela 3). As plantas, quando se desenvolvem sob condições de diferentes níveis de disponibilidade de água no solo apresentam, no início, diferenças expressivas entre os valores de CRA. No entanto, com o passar do tempo, sob os mesmos níveis anteriores de deficiência hídrica do solo, parecem mostrar uma tendência de equivalência entre os valores do CRA (READ e BARTLETT, 1972).

TABELA 3 – Conteúdo relativo de água (CRA - %) de folhas de plantas de erva-mate, cultivadas sob diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, em relação a capacidade de campo (CC), 2 e 4 dias após a irrigação.

Dias após a irrigação	Tratamentos			Média
	T-1 100% CC	T-2 80% CC	T-3 65% CC	
2	97,4	97,5	97,6	97,5 A
4	92,8	92,0	90,8	91,9 B
Média	95,1 a	94,8 a	94,2 a	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Comparando-se as trocas de CO₂ com o CRA, e admitindo-se a dependência do primeiro às variações do segundo, pode-se considerar como provável que não tenha sido constatada diferença significativa nas trocas de CO₂ entre os tratamentos porque também não se constatou significância dos valores do CRA. A dependência das trocas de

CO₂ às variações do CRA das folhas de erva-mate pode ser verificada pela correlação entre estes dois parâmetros (Figura 1). O coeficiente de determinação (R²) foi significativo ao nível de 5%, o que caracteriza uma acentuada dependência das trocas de CO₂ com os valores de CRA das folhas de erva-mate.

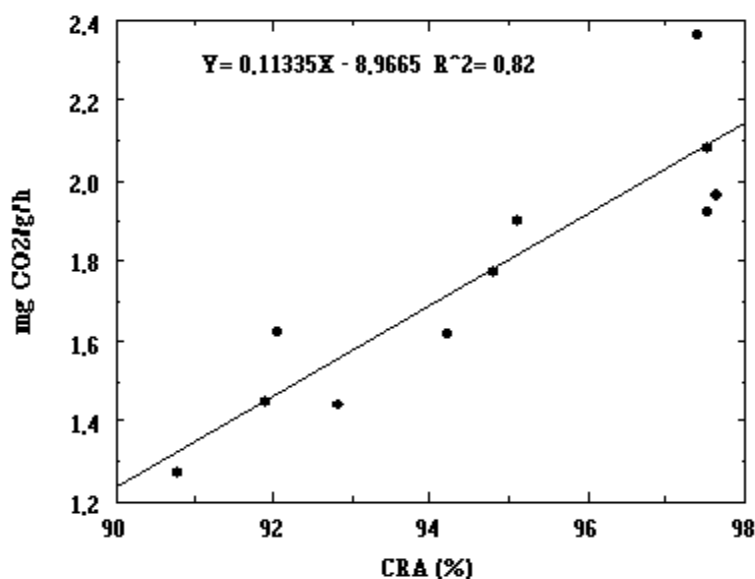


FIGURA 1 – Relação entre o conteúdo relativo de água (CRA) e trocas de CO₂ de folhas de mudas de erva mate.

Hand *et al.* (1982) também observaram uma forte correlação entre resistência estomática, fotossíntese líquida e potencial hídrico das folhas de *Prunus persica*. Coelho (1980) verificou que o ponto de compensação hídrica para trocas de CO₂ ocorreu em torno de 70% do CRA das folhas de *Manihot esculenta* Crantz. Aumentos nos valores de CRA corresponderam a aumentos nas trocas de CO₂. Resultados com a mesma tendência foram verificados por Socias e Medrano (1994) em *Trifolium subterraneum* ssp.

Embora sem diferença significativa nos valores absolutos de trocas de CO₂ entre os tratamentos (Tabela 2) em termos percentuais, no entanto, os valores de redução foram de 39% em T-1, 15% em T-2 e 35% em T-3. No entanto, as reduções dos valores de CRA foram de apenas 4,5% em T-1, 5,5% em T-2 e 6,8% em T-3 de 2 para 4 dias após a irrigação. Tanto o excesso de água no solo (T-1), como a falta (T-3) parecem ter afetados negativamente o desempenho das mudas (Tabela 1). A melhor adaptação do

processo fotossintético no tratamento T-2 parece ter sido uma das causas do maior crescimento das mudas de erva-mate em relação aos tratamentos T-1 e T-3 (Tabela 1).

CONCLUSÕES

O teor de água no substrato em torno de 80% da capacidade de campo foi o que proporcionou maior crescimento/desenvolvimento das mudas de erva-mate, em termos de altura do caule, número de folhas e área foliar.

Tanto o excesso, quanto a falta de água no substrato apresentaram influência negativa no crescimento/desenvolvimento da erva-mate.

Com a redução do conteúdo relativo de água nas folhas de erva-mate, houve uma resposta negativa nas trocas de CO₂.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, L.H. JR.; VALLE, R.R.; MISHOE, J.W.; JONES, J.W. Soybean leaf gas-exchange responses to carbon dioxide and water stress. **Agronomy Journal**, v.86, p.625-636, 1994.
- BOURDEAU, P.F.; WOODWELL, G.M. Measurements of plant carbon dioxide exchange by infra-red absorption under controlled conditions and in the field. In: ECKARD, F.E. (Coord.): **Methodology of plant eco-physiology**. Paris: UNESCO, 1965. p.283-289.
- CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V.; CALBO, A.G. Crescimento, condutância estomática, fotossíntese e porosidade do buriti sob inundação. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.10, n.1, p.51-58, 1998.
- CLOS, E.C. **Bibliografia anotada sobre yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Buenos Aires: Imprensa y Casa Editora Coni, 1941.
- COELHO, K.J.F. **Produtividade primária e eficiência no uso de água de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), submetida à deficiência hídrica**. Viçosa, 1980. Dissertação de Mestrado em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- CORLETT, J.E.; JONES, H.G.; MASSACCI, A.; MASOJIDEK, J. Water deficit, leaf rolling and susceptibility to photoinhibition in field grown sorghum. **Physiologia Plantarum**, v.92, p.423-430, 1994.
- COSTA, S.G. **A erva-mate**. Curitiba: Farol do Saber, 1995.
- HAND, J.M.; YOUNG, E.; VASCONCELOS, A.C. Leaf water potential, stomatal resistance, and photosynthetic response to water stress in peach seedlings. **Plant Physiology**, v.69, p.1051-1054, 1982.
- HAWKINS, B.J.; MACDONALD, S. The influences of temperature and soil water on growth, photosynthesis, and nitrogen fixation of red alder (*Alnus rubra*) seedlings. **Canadian Journal of Forest Research**, v.24, p.1029-1032, 1994.
- JUNG, P.K.; SCOTT, H.D. Leaf water potential, stomatal resistance and temperature relations in field-growth soybeans. **Agronomy Journal**, v.72, n.5, p.986-990, 1980.
- KASPARY, R. **Efeitos de diferentes graus de sombreamento sobre o desenvolvimento e trocas gasosas de plantas jovens de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil. – Aquifoliaceae)**. Porto Alegre: 1985. Tese (Mestrado em Botânica) – Curso de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- KIMANI, P.M.; BENZONI, A.; VENTURA, M. Genetic variation in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) in response to successive cycles of water stress. **Plant and Soil**, v.158, p.193-201, 1994.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.J.; PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woof plants**. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.
- KUMAR, A.; SINGH, D.P.; SINGH, P. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of *Brassica juncea* L. **Field Crops Research**, v.37, p.95-101, 1994.
- LEE, C.Y.; TSUNO, Y.; NAKANO, J.; YAMAGUCHI, T. Ecophysiological studies on the resistance of soybean. **Japanese Journal of Crop Science**, v.63, n.2, p.215-222, 1994.
- LINHARES, T. **História econômica do mate**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1969. 522p.
- MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A. G.; VITORELLO, V.A.; RODRIGUES, J.L.M. Fotossíntese, remobilização de reservas e crescimento de grãos em dois híbridos de milho sob deficiência hídrica na fase de enchimento de grãos. **Bragantia**, v.51, n.2, p.151-159, 1992.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. **Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Curitiba: Emater, 1991.
- MUSGRAVE, M.E. Waterlogging effects on yield and photosynthesis in eight wheat cultivars. **Crop Science**, v.34, p.1314-1318, 1994.
- PINTRO, J.C.; FLORES, F.E.V. Efeito de diferentes níveis de disponibilidade de água do solo sobre o desenvolvimento de plantas jovens de erva-mate. **Acta Scientiarum**, v.21, n.3, p.505-510, 1999.
- READ, D.J.; BARTLETT, E.M. The physiology of drought resistance in the soybean (*Glycine max*). I. The relationship between drought resistance and growth. **Journal of Applied Ecology**, v.9, p.487-499, 1972.
- SESTAK, Z.; CATSKÝ, J.; JARVIS, P.G. **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague: Dr. W. Junk, 1971. 849p.

PINTRO, J.C e FLORES, F.E.V. Crescimento e trocas de CO₂...

SOCIAS, F.X.; MEDRANO, H. Drought acclimation in field growing subterranean clover plants. **Agronomie**, v.2, p.141-148, 1994.
WEATHERLEY, P.E. Studies in the water relations of cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, p.81-97, 1950.

Recebido em 04/06/2002
Aceito em 19/01/2004