

DIMENSIONAMENTO DE UMA FROTA DE CAMINHÕES PARA
TRANSPORTE DE CARVÃO VEGETAL POR MEIO DA
PROGRAMAÇÃO LINEAR

Geraldo Galdino de Paula Junior*
Aloísio Rodrigues Pereira**

O.D.C.377.45:867.5

SUMMARY

The objective of this study was to minimize the transportation cost of charcoal from Jequitinhonha Valley to Acesita, MG.

Three trucks with unlike characteristics, five alternatives routes with different loading systems for the dry and raining season were used. The charcoal production from Florestal Acesita S.A. was considered. The difference in cost at the dry and raining season was also taking in consideration.

Trucks with 2 and 3 axes for small and large amount of charcoal, respectively, and the shortest rout (E), were preferred. Costs were always higher at the raining season. Best results were observed when the charcoal was bagged. It is recommended to transport charcoal in bags to improve loading and unloading operations.

1. INTRODUÇÃO

O transporte de carvão vegetal é realizado na sua quase totalidade por meio de rodovias, e é transportado em caminhões com capacidade variável entre 40 e 80 metros cúbicos. Isto se deve à facilidade de penetração nos mais diferentes e longínquos locais de produção de carvão vegetal, utilizando estradas de condições mais variadas, inclusive caminhos abertos pelos próprios caminhões que realizam o transporte.

No período chuvoso os custos de transporte são bastante elevados porque algumas áreas tornam-se intransitáveis, e até mesmo impedindo o acesso às carvoarias.

O objetivo deste trabalho, é indicar quais os tipos de caminhões mais adequados para determinada rota, dentre os três tipos de caminhões analisados. Serão selecionados os caminhões e definidas as rotas em que irão transitar para minimizar o custo de transporte.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura técnica existente nesta área é bastante escassa. A seguir são citados alguns trabalhos que mais se aproximam deste estudo.

* Professor Assistente do Departamento de Matemática da U.F.V.

** Coordenador Técnico da SIF - Sociedade de Investigações Florestais

COLLOMBELLI FILHO (1973), estudando custo do transporte de madeira no Estado de São Paulo, afirma que há um fator limitante para a operação em distâncias curtas, no máximo até 30 km. Teoricamente, seria possível fazer de 3 a 4 viagens por dia, o que na realidade é quase impossível, porque se perde muito tempo na carga e descarga, por serem manuais.

BERGER (1975) estudou a minimização do custo do transporte de madeira de eucalipto no Estado de São Paulo, por meio da programação linear, utilizando o modelo de transporte, e concluiu que as empresas situadas próximas das regiões produtoras de madeira operam com alta eficiência com relação aos custos de transporte.

OLIVEIRA (1977) comenta que o transporte do carvão vegetal é um dos componentes que exerce maior influência no custo do produto posto-usina, chegando o transporte rodoviário a participar do custo da matéria-prima na proporção de 60%, para distâncias superiores a 400 km dos centros consumidores.

GEIPOT (1979) recomenda a regulamentação do transporte de carvão vegetal pelo meio apropriado, tendo em vista os aspectos técnicos e econômicos; regulamentar também o tipo de carga para carvão vegetal-granel e/ou por módulos. As distâncias a serem percorridas tendem a aumentar, ampliando a participação do item transporte no custo do carvão posto-usina.

PEREIRA (1980), estudando a otimização do transporte de carvão no Estado de Minas Gerais, verificou que os raios médios de transporte estão aumentando ano a ano e que o raio médio no Estado já atinge mais de 200 km, elevando-se conseqüentemente os custos de transporte.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A região objeto deste estudo é o Vale do Jequitinhonha, onde está situada uma área de 100 mil ha de Eucalipto, reflorestada pela Florestal Acesita S.A., nos municípios de Capelinha, Itamarandiba Minas Novas e Turmalina - MG.

3.2. Modelo matemático

O modelo matemático usado para calcular a dimensão ótima de uma frota de caminhões para transporte de carvão vegetal, é de programação linear com o critério de minimização de custos operacionais, como em DANTZIO (1963), BAZARAA & JARVIS (1977) E MACULAN FILHO & PEREIRA (1980).

Sua forma é dada por

$$\text{Minimize } Q = \sum_{i=1}^{40} \alpha_i x_i$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^{40} \beta_{pi} x_i \geq \gamma_p \quad (p=1,2)$$

$$\sum_{i=1}^{40} \beta_{qi} x_i \leq \gamma_q \quad (q=3,\dots,26)$$

$$\sum_{i=1}^{40} \beta_{ri} x_i = \gamma_r \quad (r=27,\dots,32)$$

$$x_i \geq 0 \quad (i=1, 2, 3,\dots, 40)$$

Q é o custo total de transporte na seca e na chuva

$$x_i = (E_j R_k E_{as} S_{ct})_i$$

Caminhões de E_j eixos ($j = 1, 2, 3$), rota R_k ($R = A, H, C, D, E$) época do ano E_{as} ($s =$ seca, chuva) sistema de carga S_{ct} ($t =$ sacaria, gaiola) $i = 1, \dots, 40$. Exemplificando, $X_2 = (E_3 R_B E_a \text{ seca } S_c \text{ gaiola})$, ou seja, caminhão de 3 eixos, na rota H, na época seca, usando o sistema de carga de gaiola.

$i =$ custo operacional de transporte, por caminhões, por mês, $i = 1, \dots, 40$. (Tabela 1).

$$\sum_{i=1}^{40} \beta_{pi} x_i \geq \gamma_p$$

$p = 1,2$, são as restrições de atendimento da demanda mínima da usina, relativa à produção de carvão da região do Vale do Jequitinhonha.

$$\sum_{i=1}^{40} \beta_{qi} x_i \leq \gamma_q ; q = 3, \dots, 26$$

são restrições de tempo de carga e descarga de caminhões no sistema de sacaria e gaiola; de tempo de trajeto nas rotas A, H, C, D e E, nas épocas de seca e chuva; de custos de carga e descarga nos sistemas sacaria e gaiola. Os tempos e custos são mensais, de acordo com o horizonte de planejamento.

3.3. Pressuposições e limitações do modelo

- a) A realidade atual foi tomada como ponto de partida e de acordo com ela há um tempo de trajeto estimável nas diferentes rotas e custos previstos.
- b) O horizonte de planejamento para o qual foram estabelecidos tempos de trajetos, de carga e descarga e custos, é de um mês.
- c) Os custos unitários são considerados aqui independentes do tipo de estrada asfaltada ou não.
- d) Os custos unitários são estipulados independentes das quantidades a serem transportadas.
- e) Não há economia de escala.

3.4. Componentes das restrições

As restrições ou vínculos foram formulados considerando:

3.4.1. Tipos de caminhões:

São utilizados três tipos de caminhões Mercedes Henz: de 1 - eixo (no toco) com capacidade de 40 metros cúbicos de carvão vegetal; 2 eixos (trocado) de 50 MDC; e 3 eixos (carreta) com 80 MDC de capacidade.

3.4.2. Sistemas de carga:

a) SACARIA: tipo de carregamento manual usado em locais onde as condições de acesso são precárias.

b) GAIOLA: O carregamento é feito com pás carregadeiras e a descarga inclinando o caminhão. A gaiola tem um peso aproximado de 0,8 tonelada o que impede o transporte de 6% da carga total, comparado com sistema de sacaria.

3.4.3. Épocas do ano:

SECA: Época em que o fluxo de caminhões é normal em todas as estradas.

CHUVA: O fluxo é interrompido em algumas vias ou elas se tomam intransitáveis para alguns tipos de caminhões.

3.4.4. Rotas incluídas no estudo:

São consideradas cinco vias distintas para o transporte de carvão vegetal do Vale do Jequitinhonha para a usina da Acesita em Timóteo - Ma. São denominadas aqui de rota A, B, C, De E, e definem distâncias e condições de trânsito variadas (Figura 1).

3.4.5. Oferta de carvão vegetal

Observando as condições da área reflorestada pela Florestal Acesita S.A., na região, foi definido a dimensão ou o volume da oferta de carvão vegetal, variando de 30.000 a 70.000 MDC/mês.

3.4.6. Custos e tempos de carga e descarga

Os custos e tempos do processo de carregamento e descarga de carvão foram definidos levando em conta os sistemas manual e mecânico com que são carregados os caminhões, usando, respectivamente, sacaria e gaiola.

3.4.7. Tempo de trajeto

O tempo de trajeto é variável com o tipo de caminhão, a rota e a época do ano. Na época de chuva o aumento do peso do carvão e as condições precárias das estradas aumentam o tempo de trajeto em até 15%.

3.4.8. Custos operacionais de transporte

A metodologia do cálculo dos custos operacionais inclui condições sobre depreciação/remuneração do veículo, licença e seguros, salários, combustível e lubrificante, lavagem, manutenção e reparos.

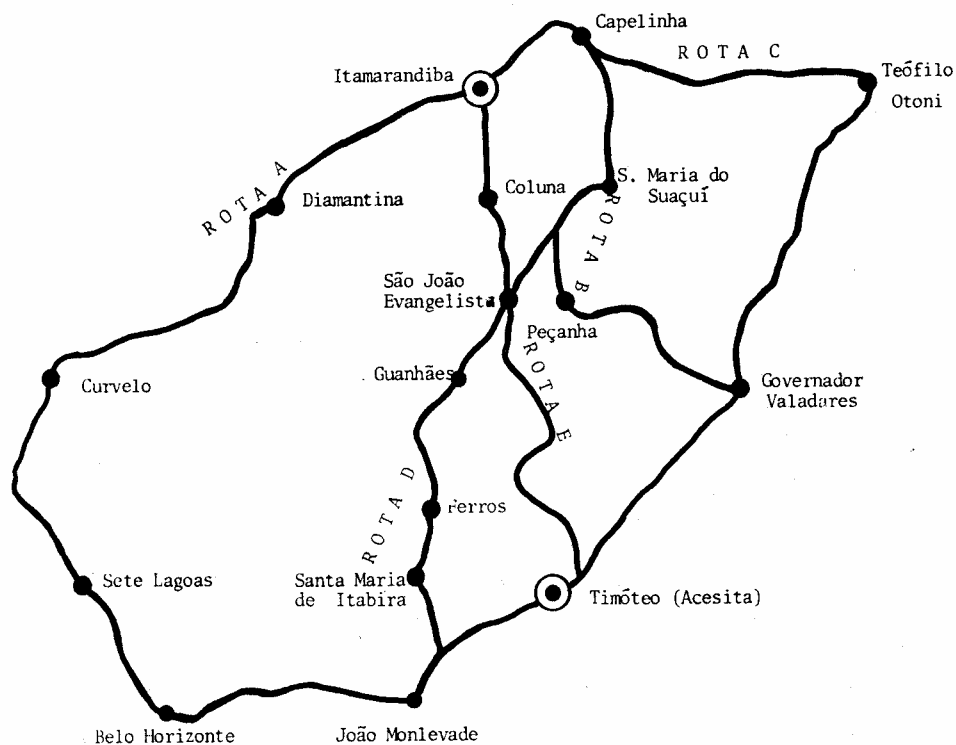


FIGURA 1. Rotas estudadas, partindo-se de Itamarandiba para Acesita, MG. Rota A = 626 km; Rota B = 445 km; Rota C = 463 km; Rota D = 453 km; Rota E = 287 km.

FIGURE 1. Tested routes from Itamarandiba to Acesita - MG. Route A= 626 km; Route B = 445 km; Route C = 463 km; Route D = 453 km; Route E = 287 km.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi exigido que a quantidade e o tipo de caminhões usados para o transporte de carvão na seca fossem iguais à quantidade e ao tipo de caminhões usados na época chuvosa.

De acordo com a Tabela 2, o volume de carvão vegetal transportado na época seca foi sempre superior ao transportado na época chuvosa, devido às condições favoráveis na época seca, uma vez que nesse caso utilizou-se o mesmo número e tipo de caminhões nas 2 épocas do ano. Houve um aumento médio na quantidade transportada de carvão na época seca de 23%.

Os custos unitários de transporte na época seca mostraram-se aproximadamente constantes, independentemente das quantidades transportadas.

TABELA 1. α 's: Custo operacional de transporte de carvão vegetal por caminhões por mês
TABLE 1. α 's: Operational costs transportation of charcoal, per truck and per month.

Rotas Routes	Seca Dry						Chuva Raining					
	C1	Sacaria Bags C2	C3	C1	Gaiola Unbagged C2	C3	C1	Sacaria Bags C2	C3	C1	Gaiola Unbagged C2	C3
A-	163.294,35	181.715,16	237.560,04	167.028,00	181.830,00	237.854,88	180.790,40	171.910,83	-	167.916,24	171.494,40	-
B-	166.801,70	171.432,48	-*	167.143,72	171.587,50	-	-	-	-	-	-	-
C-	164.859,56	168.882,84	-	164.788,40	169.064,45	-	-	-	-	-	-	-
D-	164.710,80	168.670,28	219.297,68	164815,50	168.534,60	219.372,40	138.128,56	141.390,36	184.044,38	138.446,16	141.567,84	184.271,36
E-	154.806,08	149.709,23	188.349,16	154393,20	149.835,95	188.587,68	137.540,48	133.600,68	-	137.586,77	133.641,90	-

Variável não utilizada, uma vez que, a rota não é transitável para o tipo de veículo considerado.

Variant non utilized - non passable route by trucks tested.

C₁, C₂, C₃ - Caminhão de 1, 2 e 3 eixos, respectivamente.

Truck with 1, 2 and 3 axes, respectively.

TABELA 2. Custos mínimos, considerando as quantidades mínimas de carvão vegetal transportadas por mês, com a exigência de que o número e os tipos de caminhões fossem iguais na seca e na época chuvosa.

TABLE 2. Minimum costs in function of the minimum quantities of charcoal transported monthly, considering the same type and number of trucks utilized for dry and rainy seasons.

Quantidade mínima de carvão a transportar (MDC)/mês Charcoal minimum quantity for transportation (MDC* per month)	Volume transportado (MDC/mês) Charcoal transported (MDC* per month)				Custos médios (Cr\$/MDC) Mean costs (Cr\$/MDC*)	
	Seca Dry Season		Chuva Rainy Season		Seca Dry	Chuva Rain
	Gaiola Unbagged	Sacaria Bagged	Gaiola Unbagged	Sacaria Bagged		
	30.000	-	35.298,51	-	30.000,00	316,51
40.000	-	47.064,68	-	40.000,00	316,54	332,34
50.000	4.791,85	57.308,46	-	50.000,00	314,29	350,91
60.000	14.001,99	62.012,66	14.476,64	45.523,36	321,85	365,20
70.000	23.225,02	66.703,96	22.117,16	47.882,84	327,00	375,41

* MDC = Apparent cubic meter of charcoal (granel)

Na época chuvosa, os custos são elevados a uma média de 10%, em relação a seca. Na época chuvosa, os custos unitários mostraram-se ligeiramente superiores, à medida que as quantidades transportadas aumentam.

Para a quantidade média transportada, 50.000 MDC/mês, o acréscimo de custos na época chuvosa foi de 10%, ou seja, Cr\$ 350,91/MDC, que é a média dos custos de transporte de carvão vegetal, que na seca foi de Cr\$ 318,00/MDC.

O sistema de carga preferido, tanto na época seca como na chuvosa, foi o de sacaria. Entretanto, para maiores quantidades transportadas, parte do carvão deve ser transportada em sacaria e parte em gaiola. Isso se deve ao fato de se limitar o tempo de carga e descarga. Quando há tempo disponível para carga e descarga, a preferência recai na carga em sacaria.

De acordo com a Tabela 3, para pequenas quantidades de carvão vegetal a serem transportadas, os caminhões de 2 eixos são preferidos. Com o aumento do volume de carvão a ser transportado, a preferência recai nos caminhões de 3 eixos. A não limitação do número de caminhões de cada tipo permitiu a escolha de caminhões de 2 e 3 eixos apenas. Com o mesmo número e tipo de caminhões para a seca e chuva, o volume de carvão transportado na seca é sempre superior ao volume transportado na época chuvosa, em razão das condições favoráveis da realização do transporte de carvão na época seca.

TABELA 3. Dimensão ótima da frota de caminhões para transporte de carvão vegetal em todas as rotas, com a exigência de que o número e o tipo de caminhões fossem iguais na seca e na época chuvosa.

TABELA 3. The optimum number of trucks for transportation of charcoal for D and E routes, considering the same type and number of trucks utilized for dry and rainy seasons.

Quantidade mínima de carvão a transportar (MDC)/mês Charcoal minimum quantity for transportation (MDC* per month)	Rota D* Route D*				Rota E Route E					
	Seca Dry season		Chuva Rainy season		Seca Dry season		Chuva Rainy season			
	Gaiola Unbagged	Sacaria Bags	Gaiola Unbagged	Sacaria Bags	Gaiola Unbagged	Sacaria Bags	Gaiola Unbagged	Sacaria Bags		
	30.000	-	-	-	-	-	75	-	-	75
40.000	-	-	-	-	-	100	-	-	100	-
50.000	12	-	-	-	21	1	-	89	21	18
60.000	38	-	-	-	45	2	-	62	45	38
70.000	63	-	-	-	69	4	-	36	69	59

* As demais rotas não foram utilizadas.

The routes A, B and C were not utilized.

** MDC = Apparent cubic meter of charcoal (granel)

5. CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos pode-se concluir que:

- a) Para o transporte de carvão vegetal efetuado na época chuvosa, os custos médios de transporte são sempre mais elevados, para as mesmas quantidades de carvão transportado na época seca.
- b) O menor custo médio de transporte foi obtido na época seca, com o valor de Cr\$ 316,51/MDC.
- c) A rota que apresentou menores custos médios foi a rota "E", sendo que neste caso a escolha para caminhões de 3 eixos (carreta) contribuiu para redução dos custos médios.
- d) O sistema de carga preferido foi o de sacaria em caminhões de 3 eixos (carreta), entretanto, a gaiola também foi escolhida para caminhões de 2 eixos (truck), em menores porcentagens.
- e) Recomenda-se estudar outros sistemas de carga, semelhantes à sacaria, para que se possa reduzir o tempo de carga e descarga, aumentando assim a eficiência do sistema de carga em sacaria.

6. RESUMO

Este trabalho foi realizado abrangendo toda a produção de carvão vegetal da Floresta Acesita S.A., do Vale do Jequitinhonha, com o objetivo de determinar quais caminhões são os mais adequados para determinadas rotas, de maneira a minimizar o custo de transporte de carvão vegetal do Vale do Jequitinhonha para Acesita, MG.

Foram estudados 5 rotas e 3 tipos de caminhões, variando os sistemas de carga nas épocas de seca e chuva.

A rota mais curta foi a preferida (E), e os caminhões escolhidos foram de 2 e 3 eixos, para pequenas e grandes quantidades de carvão vegetal transportados, respectivamente. Os custos mostraram-se sempre elevados na época chuvosa e ainda o sistema de carga em sacaria foi o melhor, recomendando-se estudar um sistema de carga semelhante ao de sacaria para tentar reduzir a perda de horas produtivas na carga e descarga.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAZARAA, S.M. & JARVIS, J.J. **Linear programming and network flows**. New York, John Wiley, 1977. 565p.

BERGER, R. **Minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto no Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1975. 122p. (Tese - Mestrado - ESALQ).

CINCUNEGUI, J.E. **O setor siderúrgico no Estado de Minas Gerais, perspectiva e análise de seu impacto no desenvolvimento regional**. Belo Horizonte, Fundação João Pinheiro, 1979. 225p.

COLLOMBELLI FILHO, M. Efeito do transporte no preço da madeira. In.: SEMINÁRIO PAULISTA DE SILVICULTURA, 1, Campinas, 1973. **Anais**, Campinas, 1973. p. 98-108.

DANTZIG, G.B. **Linear programming and extensions**. Princeton, Princeton University Press, 1963. 627p.

GEIPOT. **Plano operacional de transportes**. Brasília, Ministério de: Transportes, 1979. 435p.

MACULAN FILHO, N. & PEREIRA, M.V.F. **Programação linear**. São Paulo, Atlas, 1980. 182p.

OLIVEIRA, V.G. **Análise econômica do carvão vegetal**. Belo Horizonte, IBS/ABM/BDMG, 1977. 9p.

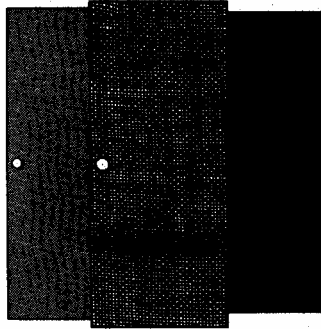
PEREIRA, A.R. **Otimização do transporte de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais**. Viçosa, 1980. 104p. (Tese Mestrado - UFV).

A Eucatex vem exportando, mensalmente, mais de 8.000 toneladas de chapas de fibras de madeira para os países que exigem alta qualidade e tecnologia sofisticada. Veja os produtos que ela exporta:

Xapadur: chapa dura prensada a quente para aplicação em móveis, revestimento de portas, quadros negros, painéis, revestimentos, telas para pintura, cabines etc.

Forros acústicos e isolantes: linha variada de chapas de fibra de madeira em padrões modernos, próprias para forros e revestimentos termoacústicos.

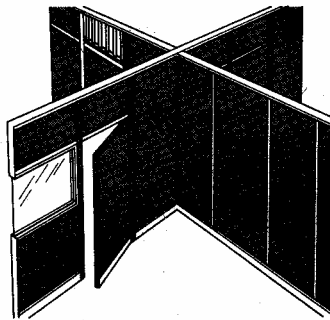
Chapas isolantes de fibra de madeira: para forros, isolamento térmica, painéis, revestimentos, miolo para portas e painéis, reforço para assoalhos, juntas de dilatação para concreto etc.



Eucaplac: chapa dura impressa em cores lisas ou em padrões de madeiras nobres para lambris, painéis, divisórias, mobílias, portas etc.

Syramic: chapa dura com exclusivo acabamento em relevo, altamente resistente e usado para revestimento de paredes, móveis etc.

Já é tempo de você saber que o mundo inteiro está usando os produtos Eucatex.



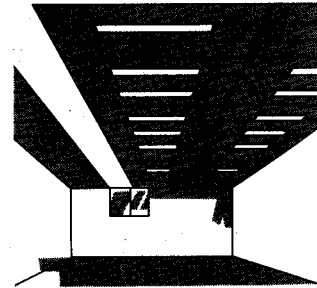
Amazon: chapa dura gravada em baixo relevo, com veios naturais de madeira usada para móveis, revestimento de portas, divisórias, painéis e outras superfícies verticais.

Formidur: uma chapa Eucaplac altamente resistente a riscos e manchas, com superfície em cores lisas ou padrões de madeiras nobres.

Divilux: sistema articulado para divisão de ambientes, removível, modular, com revestimento de Eucaplac ou Amazon e miolo de chapa de fibra de madeira isolante, ou chapa à base de mineral e isolante, ou tipo "honeycomb".

Portas Lakra: em vários tamanhos e seis desenhos diferentes, oferecendo mais de 30 opções de acabamento. Seca em estufa e na medida certa para qualquer aplicação.

A Eucatex produz também o forro Paraline, em aço ou alumínio, na sua moderna fábrica de perfis metálicos. O forro Paraline, simples e forte, é incombustível e fabricado sob



licença da Donn Corporation. A beleza e qualidade destes produtos fizeram com que a Eucatex conquistasse sólida posição no mercado mundial e ganhasse a confiança de mais de 50 países.



Escritório Central: Av. Francisco Matarazzo, 584/612 - Tel.: 825-2233 (PABX) - Telex (011) 23154 - São Paulo • Fábricas: Produtos de Fibra de Madeira e Mineral - Rua Ribeirão Preto, 811/909 - Tels.: 483-2553 e 483-2476 - Salto - São Paulo • Produtos Metálicos - Estrada do IBC - Bairro do Tamboré - Tels.: 429-5531 e 429-5508 - Barueri - São Paulo • Representantes Especiais no Exterior: Interboard International B.V. - Keizersgracht 560-562 - Tels.: (020) 22-9916 e (020) 25-2468 Amsterdam C - Telex 14648 INBOD NL - Holanda • Interboard International Corporation 1 Dag Hammaraskjold Plaza - Suite 1806 - 18 th Floor - New York, N.Y. 10017 - Tel.: (212) 752-7624 - Telex 234-25807 - Estados Unidos da América • Assessores em Termo-Acústica S.A. - Paraná, 425 - Telefone: 40-6309 e 46-8425 - Buenos Aires - Argentina • Interboard International (Far East) 84 Repulse Bay Road I/F - Tel.: 65230 INTBD BX - Hong Kong.

