

NOVAS TECNOLOGIAS NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE MADEIRA

Fernando Seixas¹

RESUMO

O transporte de madeira no Brasil é feito principalmente através do modo rodoviário, sendo responsável, na maior parte das vezes, pela maior parcela dos custos da madeira posto fábrica. Trata-se de um setor que atualmente sofre pressão de aumento de custos em virtude da instalação de postos de pedágios nas rodovias, fiscalização mais rigorosa com relação à “Lei da Balança” e reajustes dos preços de combustível. Este trabalho levantou alguns aspectos com relação aos veículos normalmente utilizados na área florestal, a distribuição do peso da carga pelos eixos, exemplos de veículos e legislação de outros países e a pesagem da carga no próprio local de carregamento. Sistemas automáticos de inflagem de pneus diretamente da cabine do caminhão também são abordados, bem como a opção de colheita e transporte de madeira por meio da produção de cavacos no campo.

SUMMARY

Mainly trucks do the wood transport in Brazil, being responsible by most part of delivered wood cost. It is a sector under economical pressure, because of new tollbooth installations, more severity inspection related with load per axle, and recent diesel price increase. This paper includes some aspects about vehicles being used in wood transport, the load distribution by axles, examples of vehicles and legislation from other countries, and the use of scales to measure the truck weight in-woods. CTI systems and the in-woods chipping option are also discussed.

¹ Professor Associado - Depto. de Ciências Florestais da ESALQ/USP, C.P. 9, 13.418-900 Piracicaba, SP

1. INTRODUÇÃO

No início da década de 80, Simões et al. (1981) afirmavam que o principal modo de transporte de madeira no setor florestal brasileiro era o rodoviário, com poucas empresas utilizando-se do modo ferroviário. Machado (1984) comentava também que o transporte florestal principal era praticamente representado pelo caminhão. Essa situação pouco se alterou no passado recente, mantendo-se a predominância do transporte rodoviário, com algumas empresas transportando parte da sua madeira por ferrovias e o transporte fluvial mais restrito à região Amazônica.

Além dessa dependência, a importância do transporte por caminhões é marcante principalmente pela participação na composição do custo final da madeira posto fábrica. No caso particular de algumas empresas de celulose e papel e de chapas no Estado de São Paulo, o custo do transporte de madeira de florestas implantadas variava entre 38 e 66% do custo final de aquisição da madeira, posto fábrica, obtido para distâncias médias entre 45 e 240 km, respectivamente (Champion, 1983; Duraflora, 1984; Salmeron, s.d.). Martini & Leite (1988) citavam valores entre 40 a 50%, enquanto que Hakkila et al. (1992) comentavam que o custo do transporte de madeira no Brasil era de aproximadamente 44%. A tabela 1 ilustra exemplos da composição de custos no Brasil e Finlândia. Mais recentemente, Ribeiro (1998) reportava o índice de 30%, obtido em uma empresa de celulose e papel.

Tabela 1. Composição do custo da madeira para celulose posto fábrica no Brasil e Finlândia.

Operação	Brasil (US\$/m³)	Finlândia (US\$/m³)
Corte	3.04	7.54
Extração	2.71	4.72
Transporte (90 km)	5.59	7.40
Estradas	0.51	-
Planejamento e Supervisão	-	0.57
Outros Custos	0.70	-
Total	12.55	20.23

Fonte: Adaptado de Hakkila et al. (1992).

Em virtude das suas características em termos de especificidade de carga e exclusividade do frete, o transporte florestal possibilita ao caminhão viajar carregado somente em um sentido, o que faz com que os custos tendam a ser maiores por unidade de volume do que em outros setores dos transportes. A utilização de carretas de múltiplos usos, que podem transportar mais de um tipo de produto (ex.: cavacos e toras) pode implicar em redução significativa de custos sob certas condições. Michaelsen (1996) descreve um modelo Temisko de 15,2 m, pesando 21,8 t, incluindo a unidade tratora, com PBTC de 55,5 t e, conseqüentemente, capacidade de carga de 33,7 t (Figura 1). Esta unidade oferece capacidades de volumes de 109 m³ para cavacos e 79 m³ para toras. Os fueiros laterais mantêm as toras distantes cerca de 18 cm das paredes laterais, evitando-se danos às mesmas, e rotacionam a partir do topo durante a descarga dos cavacos. A porta traseira abre-se de dois modos: rotação a partir do topo, para descarga de cavacos, ou lateralmente no transporte de toras. As portas traseira e frontal são encaixadas junto às paredes laterais durante o transporte das toras.

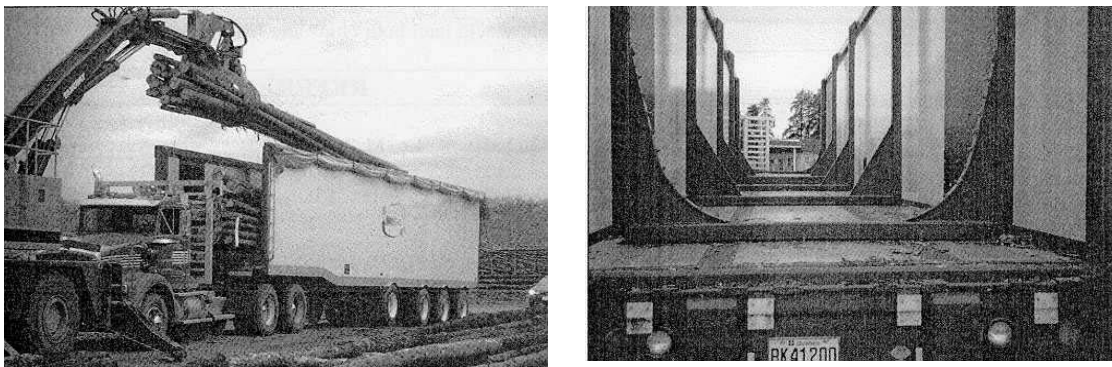


Figura 1. Carreta de usos múltiplos Temisko (Michaelsen, 1996).

Ao envolver longas distâncias e o tráfego em estradas de terra e asfalto, o transporte principal de madeira exige o emprego de caminhões pesados (PBT entre 30 e 45 t). Grande parte das empresas florestais que possuem frota própria ou desenvolvem estudos para tanto, acabam optando por um caminhão com maior capacidade de carga, ressaltando-se as limitações quanto à qualidade do pavimento e a capacidade de aclave de cada veículo (Seixas, 1992). A questão das distâncias mais longas é exemplificada pelo transporte feito em empresas associadas da Bracelpa (Associação Brasileira de Celulose e Papel), onde praticamente a metade do volume de madeira de eucalipto foi transportada por distâncias superiores a 100 km no ano de 1999 (Tabela 2).

Tabela 2. Volume de madeira transportada das florestas e depósitos para as fábricas de celulose e papel, no ano de 1999, segundo a distância percorrida (em tonelada seca com casca).

Distância (km)	Gênero			
	Eucalipto	Participação (%)	Pinus	Participação (%)
Até 100	8.445.631	51	5.452.204	93
101-200	3.944.874	24	223.411	4
201-300	3.731.330	23	172.135	3
301-400	324.386	2	9	-
Total	16.446.221	100	5.847.759	100

Fonte: BRACELPA (2000)

Entre diversos outros fatores, o custo da operação de transporte é dependente da distância, da existência de frete de retorno, das condições da rede viária e da construção e manutenção de estradas, da eficiência das operações de carga e descarga, incluindo aqui os tempos de espera, da quantidade de carga transportada por composição veicular, do pagamento de pedágios, combustível etc. Em virtude da privatização de algumas rodovias, notadamente no Estado de São Paulo, o número de pedágios aumentou significativamente, assim como a fiscalização quanto à observância da Lei da Balança, pela preocupação das concessionárias quanto à conservação das estradas sob sua administração. Portanto, número de eixos na composição e o peso em cada eixo são fatores hoje de preocupação para o transportador, sempre buscando a otimização da quantidade de madeira transportada por veículo, sem contudo ultrapassar os limites estabelecidos na legislação.

2. COMBINAÇÕES DE VEÍCULOS UTILIZADOS NO TRANSPORTE DE MADEIRA E A “LEI DA BALANÇA”

Na AMCEL (Amapá Celulose) o transporte principal foi planejado para trabalhar com toras longas. O equipamento era uma composição do tipo “rodotrem”, composta de um cavalo mecânico, um semi-reboque e um reboque. O comprimento do

conjunto era de 30 m e a capacidade de aproximadamente 100 st (50 t). A distância média de transporte era de 100 km e cada ciclo de transporte era completado em menos de 8 horas (Fernandes & Tiburcio, 1987).

Operando no Estado de São Paulo, e já se preocupando com a observância dos limites da “Lei da Balança”, a Duratex Florestal S/A (1987) abandonou a utilização da composição “Romeu e Julieta”, caminhão pesado (6x4) mais reboque de 2 eixos, passando a utilizar caminhões 4x2 e semi-reboque de 3 eixos. Os parâmetros referenciais de utilização de mão-de-obra e consumo energético foram reduzidos, com a mudança do sistema, de 9 homens.dia / 100 st e 2,53 l de diesel / st para 7 homens.dia / 100 st e 2,27 l de diesel / st.

Moreira (1987) descreveu a utilização do “treminhão”, caminhão pesado (6x4) mais dois reboques, em distâncias curtas de até 30 km. Diversos problemas internos em termos da qualidade de estradas, alta porcentagem de aclives acentuados e baixa velocidade das operações de carga e descarga, fizeram com que os resultados econômicos desse sistema não fossem satisfatórios. Contudo, a utilização do “treminhão” otimizou o fluxo de madeira na Klabin (Paraná), o qual era feito, em grande parte, em rede viária própria, garantindo o abastecimento da fábrica e tornando-se uma opção estratégica da empresa.

A chamada “Lei da Balança”, parte do Código Nacional de Trânsito, foi elaborada na década de 60 e posta em prática a partir de 1974, sendo um conjunto de artigos do referido código que influem nas limitações de dimensões e de peso para os veículos de carga e passageiros de fabricação nacional (Scania, 1997). O Peso Bruto Total (PBT) do caminhão, ou o Peso Bruto Total Combinado (PBTC) da composição veicular, não pode ultrapassar a Capacidade Máxima de Tração (CMT) estabelecida de 4,2 kW/t (5,71 cv/t), restringindo-se ainda ao limite máximo de 45 t. As figuras 2 e 3 ilustram os pesos máximos para os tipos de veículos utilizados no transporte florestal rodoviário.

Machado et al. (2000) comentam que, de acordo com a Resolução 68/98, as combinações de veículos de carga (CVC), com mais de duas unidades, incluindo a unidade tratora (ex.: rodotrens, treminhões e tritens) ou duas articulações (ex.: bitrens), somente poderão circular portando uma Autorização Especial de Trânsito (AET). Estas combinações não poderão possuir PBTC superior a 74 toneladas, respeitando-se a CMT, ter comprimento máximo de 30 m e limitar-se ao peso máximo estabelecido por eixo.

Peso máximo para veículos articulados

Cavalo-mecânico 4x2 Eixos em tandem		6t+10t+10t PBTC = 26t
		6t+10t+17t PBTC = 33t
		6t+10t+25,5t PBTC = 41,5t
Cavalo-mecânico 4x2 Distância entre eixos maior que 2,40m		6t+10t+(10t+10t) PBTC = 36t
		6t+10t+(10t+10t+10t) PBTC = 46t(com AET)
Cavalo-mecânico 6x4 Eixos em tandem (balancim ou bogie)		6t+17t+10t PBTC = 33t
		6t+17t+17t PBTC = 40t
		6t+17t+25,5t PBTC = 48,5t(com AET)
Cavalo-mecânico 6x4 Distância entre eixos maior que 2,40m		6t+17t+(10t+10t) PBTC = 43t
		6t+17t+(10t+10t+10t) PBTC = 53t(com AET)

Obs.: eixos dos semi-reboques com rodados duplos.

Figura 2. Tipos de veículos articulados e respectivos PBTC (Machado et al., 2000)

Combinação de Veículos de Carga

Biminhão	 Comprimento Máximo: 19,80m	6t+17t+(10t+17t) PBTC = 50t
Biminhão	 Comprimento Máximo: 19,80m	6t+17t+(17t+17t) PBTC = 57t
Bitrem Articulado	 Comprimento Máximo: 19,80m	6t+17t+(17t+17t) PBTC = 57t
Treminhão	 Comprimento Máximo: 30,00m	6t+17t+(10t+10t)+ (10t+10t) PBTC = 63t
Tritrem	 Comprimento Máximo: 30,00m	6t+17t+17t+17t+17t PBTC = 74t
Rodotrem	 Comprimento Máximo: 30,00m	6t+17t+17t+17t+17t PBTC = 74t

Obs.: eixos dos semi-reboques e reboques com rodados duplos.

Figura 3. Tipos de combinação de veículos de carga (Machado et al., 2000)

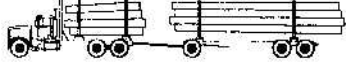
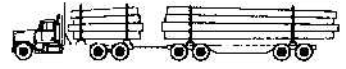
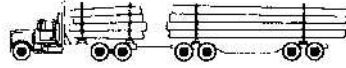


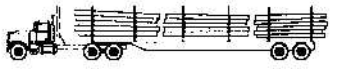

Na Finlândia, a combinação normalmente utilizada para o transporte de madeira é um caminhão 6x4 mais um reboque com quatro eixos. Quase todos os veículos possuem um carregador “destacável” e diversos transportadores utilizam uma balança acoplada ao carregador, procurando assim garantir maior precisão na carga total e

distribuição de peso por eixo. Algumas empresas exigem equipamento de bordo para transmissão sem fio de dados. Este equipamento normalmente inclui um computador com GPS integrado e telefone com um modem. Mapas e softwares são fornecidos gratuitamente aos transportadores. As dimensões e pesos em geral são as seguintes:

- Comprimento: é permitido até 25,25 m, mas a medida usual é 22,00 m.
- Altura: 4,20 m.
- Largura: 2,60 m.
- PBTC: 60 t.
- Tara do veículo sem o carregador: 18-19 t.
- Peso da carga: 41-42 t de madeira.
- Volume: aproximadamente 50 m³.
- Peso máximo por um eixo: 10 t (Vakeva, J. Comunicação pessoal, 2001).

Outros exemplos de combinações de veículos para transporte de madeira, encontrados na Província da Colúmbia Britânica, no Canadá, são descritos na tabela 3. O PBTC máximo, incluindo algumas concessões feitas, nunca deve ultrapassar 63.500 kg (Webb, 1998).

Tabela 3. Configurações de veículos típicos da Colúmbia Britânica (adaptado de Webb, 1998).

Configuração	PBTC Max.^a (kg)	Carga Máx.^a / Grupo de Eixos^b (kg)	Tara / Capacidade Líquida Máx. (kg)
TAC truck / TAC three axle full trailer 	50100	Direção: 9100 Tração: 17000 Simple: 9100 Tandem: 17000	16650 / 33450
Non-TAC truck / four axle full trailer 	60100	Direção: 9100 Tração: 17000 Tandem: 17000 Tandem: 17000	17950 / 42150
TAC truck / TAC four axle full trailer 	57100	Direção: 9100 Tração: 17000 Tandem: 17000 Tandem: 17000	17950 / 39150
Non-TAC 7-axle B-train 	57000	Direção: 6000 ^c Tração: 17000 Tandem: 17000 Tandem: 17000	18000 / 39000
TAC 8-axle B-train 	63500	Direção: 5500 ^c Tração: 17000 Tridem: 24000 Tandem: 17000	19000 / 44500
TAC truck-tractor / tandem semi-trailer 	39500	Direção: 5500 ^c Tração: 17000 SR: 17000	15700 / 23800
TAC truck tractor / tridem semi-trailer 	46500	Direção: 5500 ^c Tração: 17000 SR ^d : 24000	16500 / 30000

^a Pesos não incluem concessões. ^b Algumas restrições são descritas na referência. ^c A carga pode ser aumentada para 9100 kg para configurações equipadas com carregador. ^d Semi-reboque.

O aumento do número de eixos em uma composição rodoviária com o intuito de aumentar a capacidade de carga, promove também uma limitação na capacidade de tração do veículo. Uma solução estudada por Amlin et al. (1995) foi a de transformar eixos de tração em “tandem” em “tridem”. Um “tridem” é definido como um grupo de três eixos igualmente espaçados e suportando a mesma carga (Figura 4). Como resultado, o caminhão com conjunto de eixos em “tridem” teve maior força de tração que a versão em “tandem”, com aumentos variando de 28 a 55% dependendo dos pesos por eixo e do número de diferenciais bloqueados (Tabela 4).

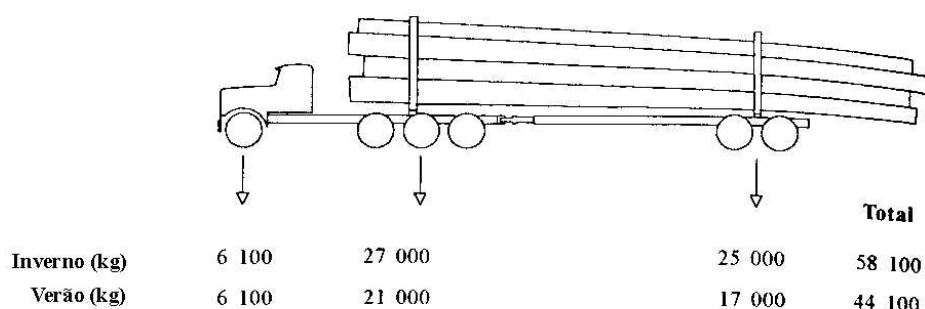


Figura 4. Pesos máximos para a configuração do eixo traseiro do caminhão em “tridem” na Província de Alberta, Canadá (Amlin et al., 1995).

Tabela 4. Médias das forças máximas de tração (Amlin et al., 1995).

	Peso/eixo (kg)	Peso/conjunto (kg)	Forças Máximas	
			Diferenciais bloqueados (kN)	Diferenciais sem bloqueio (kN)
“Tandem”	4715	9430	58,7	59,8
	6990	13980	88,4	85,4
	8500	17000	106,4	107,9
“Tridem”	4737	14210	91,6	74,2
	7003	21010	136,6	105,3

MacGregor (1997) testou um sistema de transferência de peso igualmente com o intuito de aumentar a tração no conjunto de eixos traseiros do caminhão. Com custo de Can\$ 2,750, o sistema Climber 4000 consiste de uma bolsa de ar instalada logo após a 5ª. roda do cavalo mecânico (1,4 m), que pode ser inflada a uma pressão de até 690 kPa (100 psi) a partir da cabine (Figura 5). A transferência de peso, em um caminhão com PBTC de 32350 kg, foi de 1750 kg para o eixo de tração, mas também acarretou em uma redução de 1120 kg no eixo direcional (dianteiro), o que pode causar problemas quanto à dirigibilidade. O autor recomenda que se use o sistema somente em velocidades abaixo de 50 km/h e nunca em estradas públicas com restrições quanto ao peso máximo por eixo.

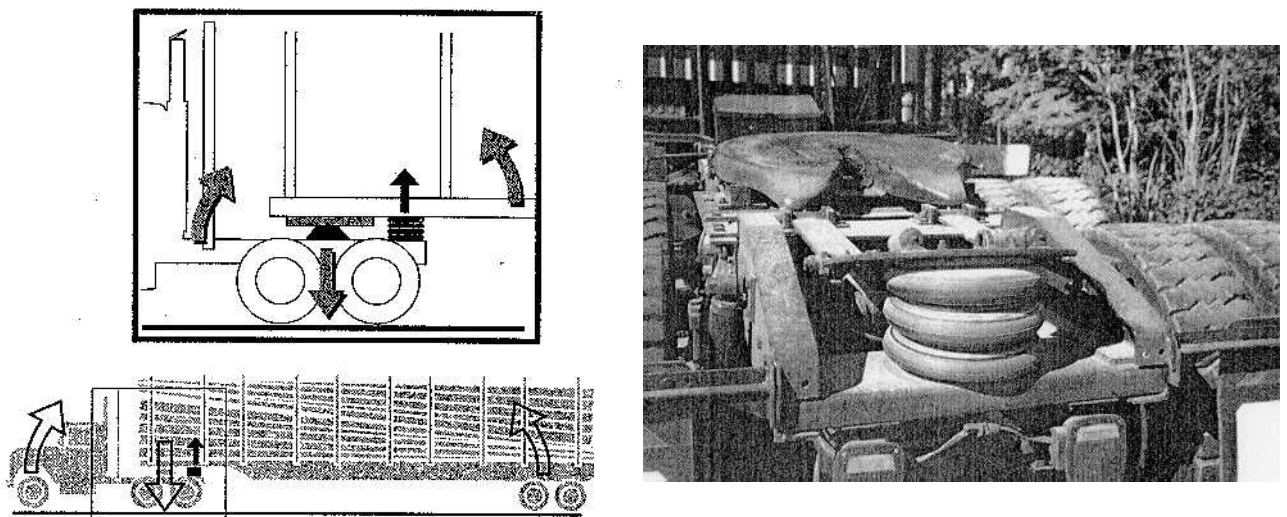


Figura 5. Sistema de melhoria de tração Climber 4000 (MacGregor, 1997).

Outro aspecto a ser considerado quanto ao peso aplicado por eixo refere-se ao desgaste resultante na estrutura do pavimento. Um estudo feito nos Estados Unidos, país com excelente malha viária, procurou avaliar as conseqüências de uma proposta para a redução dos limites de carga por eixo (“Proposta Turner”) quanto ao impacto global na economia do país. Prevendo-se redução de gastos com manutenção e conservação de rodovias e pontes, aumento da segurança, reavaliação dos valores de impostos e tarifas, reavaliação dos valores de fretes, gastos adicionais para os operadores, em termos de necessidade de aumento do número de caminhões ou de eixos, concluiu-se que haveria

benefícios globais da ordem de US\$ 2 bilhões anuais caso a proposta fosse aceita (TRB, 1990; citado por Fernandes Jr. et al., 1991).

De acordo com Fernandes Jr. et al. (1991) pela “Proposta Turner”, os limites de cargas por eixo nos EUA, que já se incluem entre os mais baixos em vigor no mundo, passariam de 9,1 t para 6,3 t (eixo simples) e de 15,4 t para 12,7 t (tandem duplo). Tais valores são ainda mais expressivos quando comparados com a realidade brasileira, uma vez que nossos limites legais vigentes (10 t, 17 t e 25,5 t, respectivamente para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo) são, via de regra, desrespeitados, dada a baixíssima densidade de postos de pesagem em nossa malha viária”.

Widmer (1990, a) alerta também para o problema do limite do PBTC em contraposição ao limite estrutural das pontes, que no Brasil eram projetadas em princípio, de acordo com uma norma (NBR 7188) adaptada de uma antiga norma DIN, com cargas de projeto inferiores aos limites atuais da norma DIN 1072. Considerando-se a “Bridge Formula” norte-americana, o treminhão e o rodotrem deveriam ter respectivamente PBTC’s máximos da ordem de 53 t e 58 t, e não 62 t e 73 t como são normalmente autorizados. O mesmo autor conclui quanto à existência de indícios de que o tráfego do semi-reboque de 3 eixos, com cavalo de 2 ou 3 eixos e PBTC legal de 40,5 t e 45 t, pode ser danoso às pontes brasileiras (Widmer, 1990 b).

3. USO DE BALANÇAS DURANTE A OPERAÇÃO DE CARREGAMENTO

Devido ao maior rigor quanto à fiscalização em termos do cumprimento da Lei da Balança e da própria necessidade de redução dos custos de manutenção de estradas, a determinação do peso da carga de madeira no próprio local de abastecimento tornou-se uma medida imprescindível. Michaelsen (1998) avaliou cinco tipos de balanças instaladas em composições rodoviárias e concluiu que 4 delas apresentavam uma calibração razoável, com erro menor do que 3%, equivalentes à tolerância legal, para o Canadá, de 1500 kg para um PBTC de 55.500 kg. Um dos sistemas era inteiramente mecânico (baseado em células de carga), dois eram inteiramente pneumáticos e os outros dois eram sistemas híbridos, ou seja, mecânico no cavalo mecânico e pneumático na carreta (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Descrição das balanças avaliadas pelo FERIC (Michaelsen, 1998).

Sistemas	Fabricante	Tipo de Balança		Custo (Can\$) ^a	
		Caminhão	Carreta	Sistema	Instalação
Mecânico	Vulcan	Célula de carga	Célula de carga	n.d. ^b	n.d.
Pneumáticos	Vulcan	Pneumático	Pneumático	2366	400
	Cléral	Pneumático	Pneumático	2345	67.50 a 450
Híbridos	SI	Célula de carga	Pneumático	5125	800 a 1000
	Vulcan	Célula de carga	Pneumático	4424	800

^a Valores aproximados sujeitos a diversos fatores. ^b Sistema não mais recomendado pelo fabricante.

Tabela 6. Diferença entre as leituras na balança da fábrica e as leituras no campo com a balança de “bordo” (Michaelsen, 1998).

Balança	Posição	No. de Leituras	Diferença (kg) ^a		Intervalo de Confiança (95%)	Erro (%) ^b
			Média	s ^c		
Híbrida SI	1	91	138	330	656	1,15
Híbrida Vulcan	2	42	211	588	1188	2,08
Ar Vulcan	3	62	294	603	1206	2,13
Ar Cléral	4	43	139	723	1459	2,63
Célula de Carga Vulcan	5	70	100	902	1800	3,17

^a A diferença representa a leitura na fábrica menos a leitura no campo.

^b O erro significa o intervalo de confiança dividido pelo PBTC obtido na fábrica.

^c s = Desvio Padrão.

A opção de montagem de uma balança na grua do carregador florestal, também avaliada por Michaelsen (1993), pode ser mais econômica, entre Can\$12,000 e Can\$16,000, dependendo da instalação, mas apresentou, no teste em questão, diferenças de leituras acima do nível aceitável de 3% do total da carga (Figura 6). Um transdutor de pressão media o aumento na pressão criada em um sistema hidráulico fechado, quando uma carga era suspensa pela grua. O aumento na pressão era proporcional à quantidade de carga suspensa. Um computador convertia o sinal de pressão para uma leitura de peso e acumulava as cargas individuais. A eficiência do sistema era dependente do cuidado com que o operador manuseava a grua, introduzindo pequenas pausas para a estabilização do sinal após a colocação da madeira na pilha do caminhão.

Essas pausas representaram um acréscimo entre 2 e 4 minutos no tempo total de carregamento e havia também um problema de técnica de calibração que pudesse ser feita pelo operador da grua.

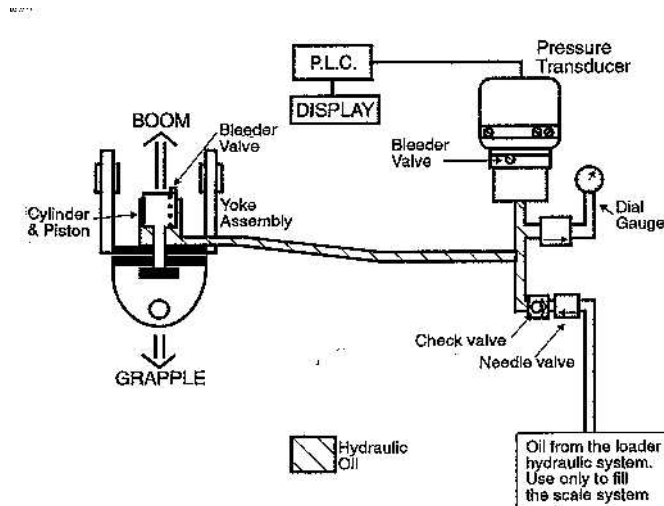


Figura 6. Esquema de uma balança “Superior” montada em uma grua (Michaelsen, 1993).

4. O SISTEMA CTI (“CENTRAL TIRE INFLATION”)

Um sistema CTI é um equipamento eletro-mecânico que permite ao motorista do caminhão variar a pressão de inflagem dos pneus da própria cabine enquanto dirige. Os benefícios da operação com pressões menores incluem: redução dos requisitos do pavimento; redução da manutenção da estrada; redução da fadiga do motorista e queixas médicas; menor custo operacional do veículo devido a menor número de danos por vibração e menos reparos nos pneus; aumento da mobilidade do veículo, possibilitando o tráfego inclusive em condições antes limitantes de maior presença de umidade no solo (Bradley, 1995).

O conceito por trás desse sistema é de adequar as pressões de pneus do caminhão a condições operacionais específicas, definidas pela velocidade, terreno, carga e resistência da superfície da estrada. Esta idéia foi aprimorada pelos militares americanos durante a II Guerra Mundial, com o desenvolvimento de sistemas que permitiam ao condutor de um veículo controlar a pressão dos pneus e melhorar assim a sua mobilidade. Na década de 80, engenheiros do USDA Forest Service começaram a

estudar a aplicação desse sistema no transporte de madeira considerado fora-de-estrada. O seu uso torna-se mais factível quando existir uma ampla variedade de condições de estradas e possibilidades de emprego de velocidades maiores (Brown & Sessions, 1999).

Cerca de 200 caminhões de transporte de madeira estavam equipados com um sistema CTI no Canadá em 1998, sistemas estes variando entre Can\$20,000 e Can\$30,000. O FERIC desenvolveu um protótipo para instalar tal sistema somente nos eixos de força do caminhão, buscando, como principal objetivo, aumentar a capacidade de tração do mesmo. O motorista pode escolher entre 4 modos de operação: viajando vazio ou carregado, em combinação com velocidades “fora-de-estrada” ou na estrada. O modo “fora-de-estrada” deve ser usado em estradas secundárias a uma velocidade máxima entre 55 e 60 km/h. O sistema é automático, permitindo estabelecer qualquer nível de pressão entre 25 e 110 psi, de acordo com o tamanho do pneu, configuração do veículo, carga e velocidade. A velocidade do caminhão é monitorada continuamente e, se a mesma exceder aquela estabelecida para o modo em uso, o sistema avisa o motorista para que reduza a velocidade ou selecione um modo com uma pressão maior de inflagem. O custo do protótipo foi de Can\$7,500 para as peças e mais 50 horas de trabalho para montagem e instalação (Vincent, 1998).

Bradley (1996) tece alguns comentários sobre tempos gastos em um teste feito com um sistema CTI de 180 kg, equipando um veículo com 26 pneus e compressor de ar de larga capacidade (877 l/min) (Figura 7). O tempo de inflagem foi de 4,8 minutos durante o carregamento (em pausa) e 13,0 minutos com o veículo aproximando-se da estrada principal. Um compressor médio (438 l/min) também poderia ser utilizado para inflar os pneus com o veículo em movimento, após entrar na estrada pavimentada, sem maiores problemas de segurança com relação à temperatura dos pneus. Os motoristas que participaram do teste relataram que o uso de pressões menores nos pneus aumentou a mobilidade dos caminhões e reduziu a necessidade de apoio aos “skidders”. Outro resultado referiu-se à profundidade do sulco dos rodados, 7,7% menor, em média, do que aquela resultante do tráfego dos veículos com pneus com maior pressão.

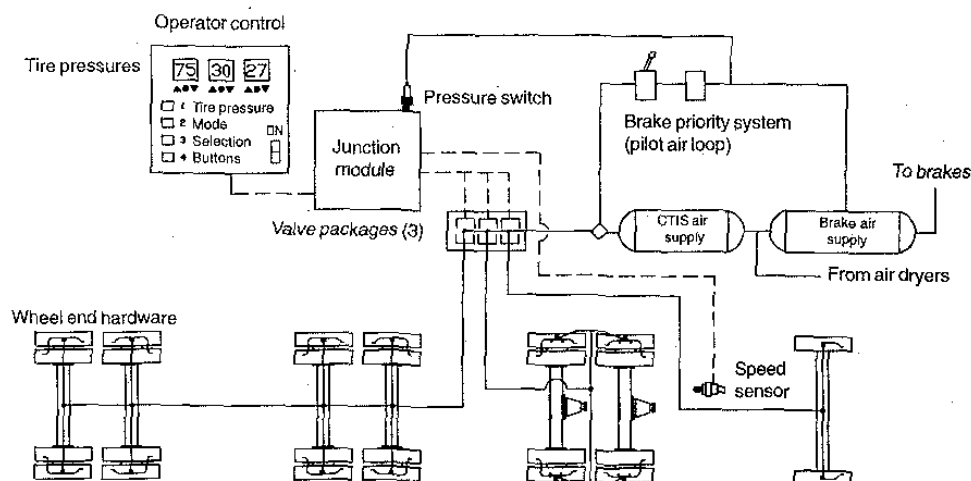
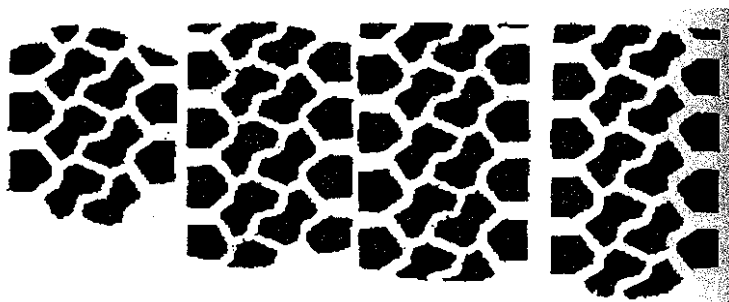


Figura 7. Esquema de um protótipo CTI (Bradley, 1996).

Com relação às vantagens do uso do sistema CTI, Taylor (1987) registrou que a manutenção de uma estrada não pavimentada reduziu-se devido ao uso de pneus com baixa pressão, presença de sulcos com 10 cm de profundidade comparados com sulcos de 40 cm pela ação de pneus com maior pressão de inflagem. Sturos et al. (1995) destacam a ocorrência de melhorias na capacidade de tração e dirigibilidade do caminhão. Em outro teste realizado durante três anos, abrangendo um total de 2088 carregamentos de madeira, foi observada a redução média de 80% na produção de sedimentos (Bradley, 1995). A causa desta diminuição foi a formação de sulcos mais largos e superficiais, com a redução da pressão dos pneus, que geralmente têm taxas de escoamento menores.

Testes comparativos entre caminhões com pneus com alta e baixa pressão, carregados e vazios, apresentaram os seguintes resultados: a) os custos de manutenção e reparos eram 8 vezes maiores para o caminhão com a pressão de pneu maior; b) peças no caminhão com pneus com maior pressão sofriam impacto 2 a 10 vezes maior do que aquelas no caminhão com pneus com baixa pressão; c) os pneus com baixa pressão apresentaram desgaste 15% menor; d) o caminhão com pneus com alta pressão causou maior perda de cascalho nas curvas revestida deste material; e) ocorreu situação de maior conforto para o motorista no caminhão com pneus com baixa pressão (Hodges, 1987).

Amlin (1996) reforça que uma maior área de contato do pneu (Figura 8) proporciona maior tração e flutuação, menor deslizamento (patinamento) das rodas e conseqüente redução de danos à superfície das estradas e menos danos aos pneus.



Pressão do Pneu	620 kPa	414 kPa	310 kPa	207 kPa
Comprimento da Impressão	25,8 cm	32,0 cm	33,8 cm	36,3 cm

Figura 8. Representação da área de contato de pneus com diversas pressões (Amlin, 1996).

Testes de tração realizados pelo FERIC (Bradley, 1993) com as pressões de pneus normalmente empregadas em sistemas CTI (620 kPa; 414 kPa; 310 kPa e 207 kPa), mostraram ganhos de força de tração de 39%, 18% e 8% em relação ao maior valor de pressão (620 kPa), nas pressões de 207 kPa, 310 kPa e 414 kPa, respectivamente (Figura 9).

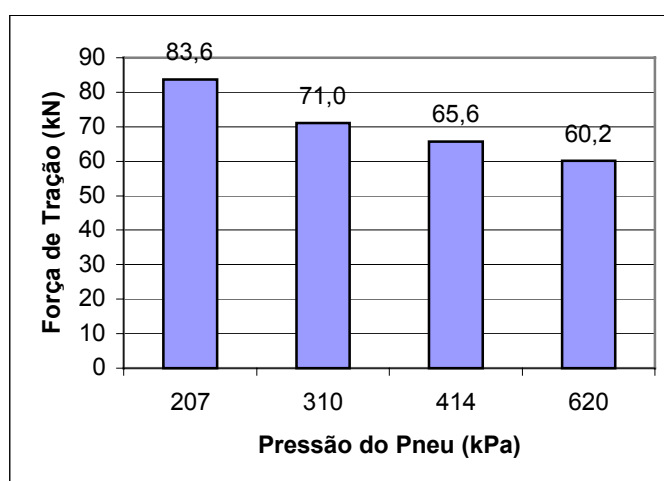


Figura 9. Valores máximos de força na barra de tração em função da pressão do pneu (Bradley, 1993).

Ainda com relação à pressão dos pneus, a utilização de equalizadores de pressão de pneus (Can\$100 a 115 a unidade) reduziu o desgaste dos mesmos entre 5 e 22%, podendo diminuir ainda mais se a checagem manual dos pneus fosse feita em intervalos inferiores a duas semanas (MacGregor, 1998).

5. PRODUÇÃO DE CAVACOS NO CAMPO

Existe atualmente um interesse crescente por parte de algumas empresas brasileiras nesse tipo de sistema de colheita de madeira, tendo já ocorrido alguns testes com equipamentos de produção de cavacos no campo (“chain-flail debarker”) nas regiões norte e nordeste do Brasil. Entre as vantagens, pode-se citar que a produção de cavacos no campo é potencialmente mais econômica do que sistemas de toras longas, no caso de árvores de menor diâmetro, e possibilita o uso de uma parte maior da árvore (Favreau, 1992). Em compensação, o custo de aquisição de um sistema completo atinge valores elevados, o que pode dificultar a sua utilização.

Em caráter ilustrativo, destaca-se a seguir o exemplo de uma empresa de celulose e papel canadense trabalhando em sistema de desbaste em floresta nativa. A floresta em questão situava-se em região acidentada, com o corte seletivo das árvores sendo feito por intermédio de motosserras e posteriormente arrastadas por “clam-bunk skidder” (Figura 10).



Figura 10. “Clam-bunk skidder” marca Timberjack.

Nesta área estavam sendo cortados entre 30 a 35% do volume total de madeira, sendo que por volta de 8 a 10% das árvores remanescentes sofriam algum tipo de dano. Dependendo da intensidade do dano e da época do ano, essas árvores também eram cortadas, sendo muitas vezes utilizadas como árvores de proteção contra choques (“bumper-trees”), devido ao arraste de madeira, para as árvores de maior valor comercial.

As árvores inteiras eram trazidas até à margem do carreador e a produção de cavacos era feita por um Delimber Debarker Chipper DDC 5000, fabricado pela Peterson Pacific Corporation em 1992 (Figura 11). Esta máquina conta com um motor de 800 hp e dois rotores internos (“flail”) equipados com 70 correntes cada um e tinha um custo de aquisição por volta de US\$800,000.



Figura 11. Árvores empilhadas e o DDC 5000 pronto para iniciar a operação.

O primeiro rotor é fixo e o segundo móvel, adaptando-se ao diâmetro da árvore. As correntes realizam o desgalhamento e o descascamento, sendo trocadas a cada 10 a 12 cargas completas de um caminhão.

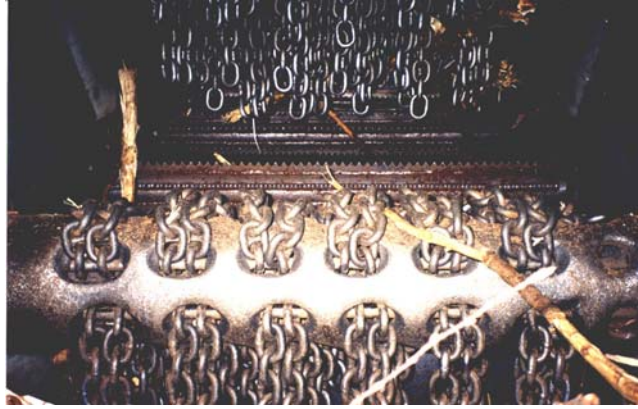


Figura 12. Vista interna do DDC 5000 com os dois rotores em destaque.

A carga de um caminhão era ao redor de 40 m³ de cavacos, ou 19 toneladas métricas base seca, sendo completada em 30 minutos. A equipe trabalhava em turnos de 12 horas / dia, durante cinco dias por semana.



Figura 13. Alimentação do DDC 5000.

A cada 6 a 8 carregamentos as facas eram retiradas para uma nova afiação e ajuste de profundidade.

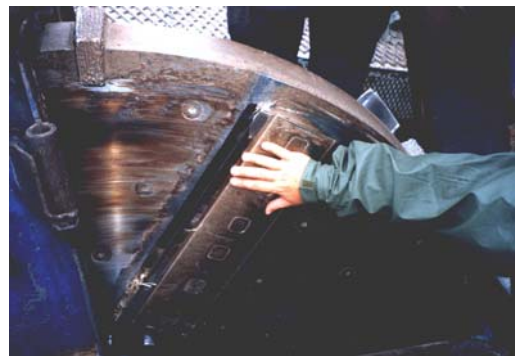


Figura 14. Processo de troca de facas (e) e disco com facas (d).



Figura 15. Faca nova (e) e faca com correção de profundidade (d).

Um problema causado por este sistema de colheita refere-se ao acúmulo de material residual ao lado dos carregadores. Devido ao baixo custo não existem possibilidades do seu aproveitamento para energia e, a princípio, não se justifica o retorno do material para dentro da floresta. O FERIC vem realizando estudos em outra região onde se avalia o uso do “skidder” de garra, que realizou o arraste das árvores, no transporte de material residual para dentro da floresta, quando do retorno do trator para um novo ciclo de arraste de madeira.



Figura 16. Material residual acumulado ao lado do carregador.

A fábrica recebe madeira na forma de cavacos e de toras, estas limitadas a um diâmetro máximo de 61 cm. A porcentagem de casca aceita pela fábrica é menor do que 0,5%, contando com um tambor de descascamento no pátio com 5 m de diâmetro, 30 m de comprimento e 200 m³ de volume. O cavaco produzido no campo é trazido em contêineres especiais e o descarregamento é feito por intermédio de plataformas móveis. O próprio motorista é responsável pela elevação da plataforma, descarregando a carga em esteiras por onde irão entrar no processo industrial de produção de celulose (Figuras 17 e 18).



Figura 17. Contêiner de cavacos sobre plataforma.



Figura 18. Elevação da plataforma e descarregamento dos cavacos.

O principal problema encontrado no transporte de cavacos é a utilização da capacidade de carga do veículo. A densidade do material é baixa, exigindo veículos de transporte com maior capacidade volumétrica para atingir o peso máximo legalmente permitido (Figura 19). Os fatores de influência na densidade podem ser a distribuição do tamanho dos cavacos, o método de carregamento no veículo e a vibração aplicada ou que ocorra durante o transporte.

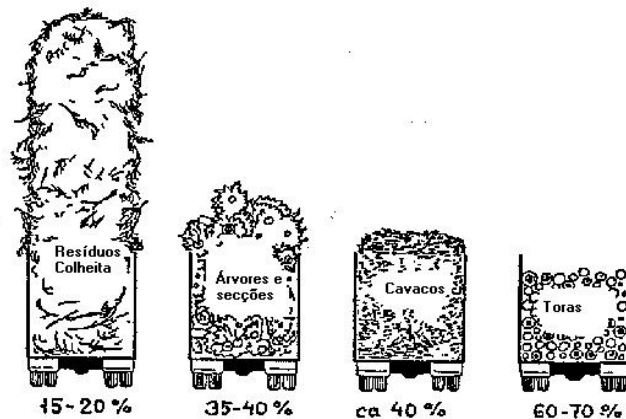


Figura 19. Fatores de volume sólido para diversos produtos florestais (Bjorheden, 1990; citado por Hankin & Mitchell, s.d.).

A maior diversidade de tamanhos permite um melhor preenchimento dos espaços vazios e maior conteúdo de sólidos. Uma distribuição mais uniforme deixará mais espaço entre os cavacos. A compactação forçada não é muito eficiente, por se tratar de material “elástico”, recomendando-se um método de carregamento onde os cavacos sejam projetados por ventiladores. A vibração transmitida pelo pavimento será efetiva até 20 km, sugerindo-se carregar o veículo acima do seu limite volumétrico, para posterior acomodação (Hankin & Mitchell, s.d.).

A produção de cavacos no campo exigiu também o desenvolvimento de reboques que suportassem as condições adversas do transporte fora-de-estrada e maximizassem a capacidade de carga, contemplando os limites legais de peso por eixo. Williams & Markham (1991) descreveram um modelo de composição que atingiu o PBTC de 62.700 kg (Figura 20), permitindo, de acordo com as leis da província de Ontário (Canadá), uma carga de cavacos de 38.400 kg. Um transdutor de pressão era conectado à suspensão de ar de cada conjunto de eixos, com um sinal luminoso programado para avisar quando o conjunto de eixos atingisse a carga máxima legal.

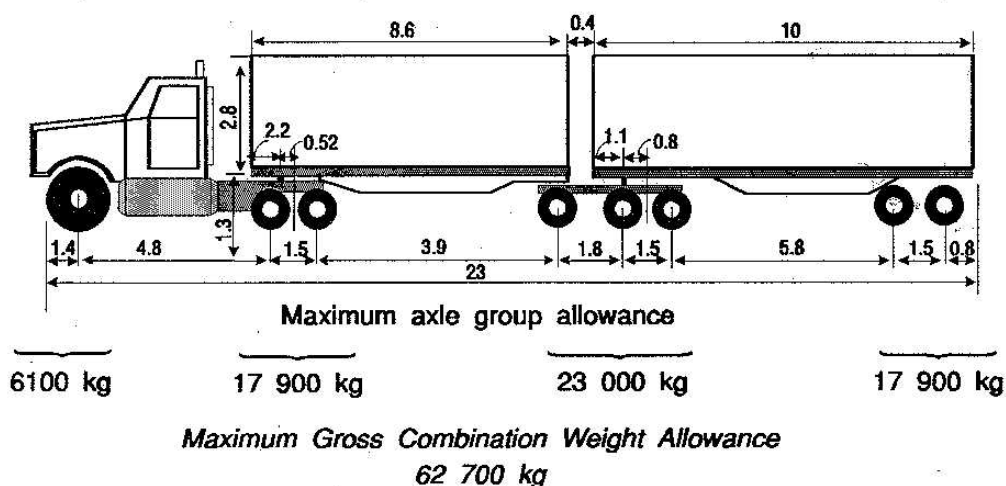


Figura 20. Dimensões (metros) e autorização de carga por eixo em composição rodoviária para transporte de cavacos (Williams & Markham, 1991).

Contudo, o custo de investimento em um sistema completo de produção de cavacos no campo pode ser limitante quanto à adoção dessa opção. Watson et al. (1991) realizaram um estudo comparativo entre a produção de cavacos no campo e no pátio da indústria, em situações de colheita em sistema de desbaste ou corte raso. Concluíram que o cavaco produzido no campo somente podia ser economicamente competitivo, comparando-se com o cavaco produzido no pátio da fábrica, em situações de desbaste de árvores de menor porte (Tabela 7).

Tabela 7. Custo estimado (US\$) de produção de cavacos até à pilha em um pátio com operações de campo a 60 km de distância (Watson et al., 1991).

Operação	<u>Toras Longas</u>		<u>Cavacos no Campo</u>	
	Desbaste	Corte Raso	Desbaste	Corte Raso
Colheita	9.92 ¹	5.79 ¹	13.33 ²	9.57 ²
Custo transporte (Toneladas/viagem)	4.90 ¹ (23,07)	5.32 ¹ (21,24)	5.04 ² (23,47)	5.04 ² (23,47)
Custo no pátio	14.82 ¹	11.11 ¹	18.37 ²	14.61 ²
Produção de cavacos limpos	80%	90%	100%	100%
Custo equivalente de cavacos	18.53 ²	12.34 ²	18.37 ²	14.61 ²
Custo de conversão em cavacos no pátio	2.56 ²	2.56 ²	--	--
Depositar e manusear cavacos no pátio	--	--	0.55 ²	0.55 ²
Crédito de madeira p/ energia	2.50 ²	1.10 ²	--	--
Custo total de cavacos na pilha	18.59 ²	13.80 ²	18.92 ²	15.16 ²

¹ Por tonelada (madeira e casca); ² Por tonelada de cavacos.

Uma opção para o transporte de cavacos em distâncias mais longas pode ser o modo ferroviário. O transporte de madeira por ferrovias sempre foi questionado, entre outros motivos, em virtude da falta de flexibilidade e confiança, assim como os atrasos freqüentes na entrega. O sistema ECORAIL é uma opção que procura combinar o transporte rodoviário de cavacos com o ferroviário, indicado para distâncias entre 300 e 1000 km. Este sistema comporta quatro componentes: uma unidade de controle (Figura 21), motores (1 para cada 6 carretas), vagões e carretas para cavacos (Figura 22). Uma das suas vantagens é a independência do transporte ferroviário tradicional, além de possíveis economias no custo do transporte, na manutenção de estradas, no aumento da segurança nas estradas rodoviárias, pela diminuição do tráfego, menor poluição e menor consumo de pneus (Provencher, 1997).



Figura 21. Unidade de controle aguardando conexão (Provencher, 1997).

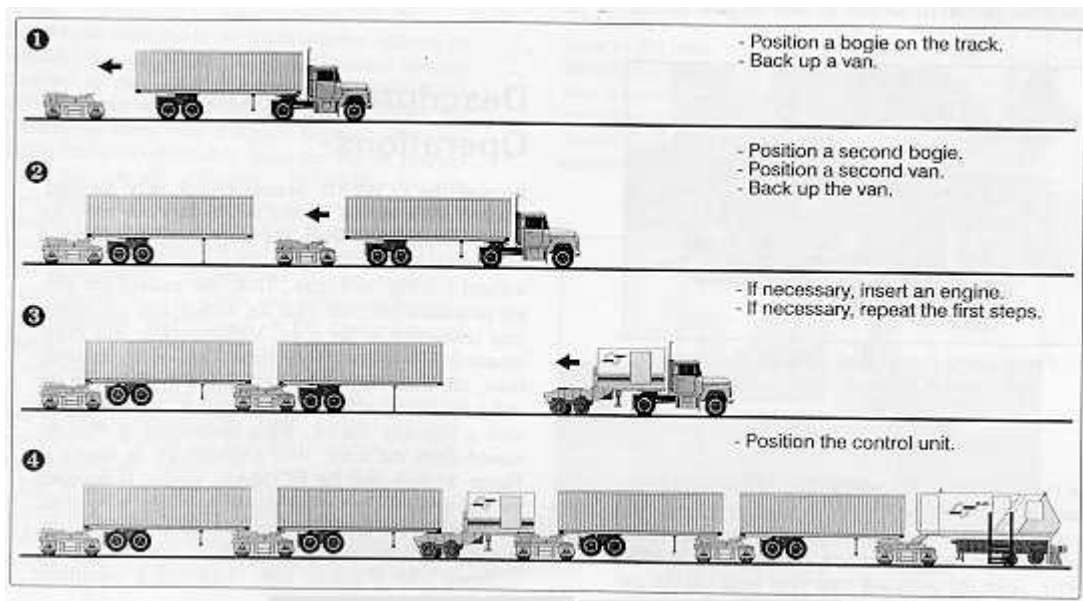


Figura 22. Etapas na montagem de um trem ECORAIL (Provencher, 1997).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMLIN, E.; KLAWER, P.; HART, D.V. Evaluation of a tridem drive tractor for log transportation. FERIC Special Report No. SR-105, Vancouver, 1995. 27 p.
- AMLIN, E. Advances in log truck technologies. FERIC Special Report SR-116, p. 58-65, 1996.
- BRACELPA. Relatório Estatístico Florestal 1999. São Paulo: Bracelpa, 2000. 60 p.
- BRADLEY, A.H. Testing a central tire inflation system in Western Canadian log – hauling conditions. FERIC, Vancouver, 1993. 11 p.

- BRADLEY, A.H. Lower tire pressures lessen sedimentation from forest roads. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking 47, 1995. 2p.
- BRADLEY, A.H. Trial of a central tire inflation system on thawing forest roads. FERIC Technical Report No. TR-116, 27 p. 1996.
- CHAMPION PAPEL E CELULOSE S/A. Encontro sobre abastecimento de madeira. Mogi Guaçu, 1983. 1 v. (não publicado).
- DURAFLOSA SILVICULTURA E COMÉRCIO LTDA. Sistema de exploração Durafloso. Lençóis Paulista, 1984. 1 v. (não publicado)
- DURATEX FLORESTAL S/A. Racionalização das operações florestais de exploração em florestas de eucalipto. In : SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, FUPEF. P.187-197. 1987.
- FAVREAU, J. In-woods chipping: a comparative cost analysis. FERIC Technical Report, No.105, p.1-16, dez. 1992.
- FERNANDES, J.M.; TIBURCIO, V.C.S. A utilização do alto grau de mecanização em sistemas de exploração florestal de Pinus. In : SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, FUPEF. P.144-148. 1987.
- FERNANDES JR., J.L.; SÓRIA, M.H.A.; WIDMER, J.A. Avaliação dos efeitos prováveis dos limites legais de cargas por eixos e da sobrecarga sobre a deterioração dos pavimentos no Brasil. Reunião Anual de Pavimentação, 25. Anais. São Paulo, p. 2089-2104. 1991.
- HAKKILA, P.; MALINOVSKI, J.R.; SIRÉN, M. Feasibility of logging mechanization in Brazilian forest plantations. Helsinki: Finnish Forest Research Institute, Research Papers 404, 1992. 68 p.
- HANKIN, C. & MITCHELL, C.P. Wood biomass transportation systems. IEA/BA T9/A6, Report No. 2, s.d. 31 p.
- HODGES, H.C.; ASHMORE, C.; SMITH, E.; GILILAND, E.; ESPENOSA, E. Nevada Automotive Test Center Final Report – Central Tire Inflation. USDA FS, Rep. 53-9JA9-6-SD647, 1987. 142 p.
- MAC GREGOR, D.T. The Climber 4000 weight transfer system for increasing drive-axle traction. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-55, 1997. 2 p.

- MAC GREGOR, D.T. Tire-pressure equalizers reduce tire wear. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-61, 1998. 2 p.
- MACHADO, C.C. Exploração florestal: I Parte. Viçosa: Imprensa Universitária - UFV, 1984. 138 p.
- MACHADO, C.C.; LOPES, E.S.; BIRRO, M.H.B. Elementos básicos do transporte florestal rodoviário. Viçosa: Editora UFV, 2000. 167 p.
- MARTINI, E.L.; LEITE, N.B. Planejamento florestal, a importância e a aplicação da programação linear. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1, Curitiba, 1988. Anais. Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1988. V.2, P.545-574.
- MICHAELSEN, J. A new Temisko multipurpose trailer for tree-length logs and chips. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-50, 1996.
- MICHAELSEN, J. A comparative evaluation of onboard weight scales. FERIC technical Note TN-275, 1998. 6 p.
- MOREIRA, M.F. A utilização do transporte pesado em curtas distâncias. In : SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, Curitiba, 1987. Anais. Curitiba, FUPEF. P.218-238. 1987.
- PROVENCHER, Y. The Ecorail system for transporting chip vans by rail. FERIC Technical Note TN-253, 1997. 8 p.
- RIBEIRO, B.A.M. Coordenação vertical do transporte de madeira: análise empírica dos arranjos institucionais existentes na indústria brasileira de celulose. Piracicaba. 113 p. 1998. (Dissertação de Mestrado – ESALQ).
- SALMERON, A. Exploração e abastecimento de madeira na RIPASA S/A Celulose e Papel. Americana, Ripasa Florestal, s.d. 30 p.
- SCANIA. Lei da balança: aspectos técnicos legais. São Bernardo do Campo: SCANIA, 1997. 8 p.
- SEIXAS, F. Uma metodologia de seleção e dimensionamento da frota de veículos rodoviários para o transporte principal da madeira. São Carlos. 106 p. 1992. (Tese de Doutorado – EESC).
- SIMÕES, J.W.; BRANDI, R.M.; LEITE, N.B.; BALLONI, E.A. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília, IBDF, 1981. 139 p.

- STUROS, J.A.; BRUMM, D.B.; LEHTO, A. Performance of a logging truck with a central tire inflation system. USDA FS NC RP(322), 1985. 10 p.
- TAYLOR, D.J. National central tire inflation program – Boise National Forest field operational tests. Proj. Rep. 8771 1201. USDA FS, 1987. 42 p.
- VINCENT, B. FERIC's central tire inflation system. Feric Field Note No.: Loading & Trucking-60, 1998. 2p.
- WATSON, W.F.; FLANDERS, L.N.; DUBOIS, M.R.; STOKES, B.J.; STRAKA, T.J.; HOTTINGER, G.J. Cost comparison at the woodyard chip pile of clean woodland chips and chips produced in the woodyard from roundwood. TAPPI Proceedings, p.183-189, 1991.
- WEBB, C.R. Popular B.C. vehicle configurations for hauling cut-to-length logs: maximum weights and dimensions guide, effective October 1997. FERIC Field Note No. Loading & Trucking-59, 1998. 2 p.
- WIDMER, J.A. Transporte rodoviário de carga – Evolução da legislação de dimensões e pesos no exterior. Encontro Anual da ANPET, 4. Porto Alegre, 1990 a. 15 p.
- WIDMER, J.A. Operação de veículos combinados longos – Evidências da operação nos EUA, no Canadá e na Austrália. Encontro Anual da ANPET, 4. Porto Alegre, 1990 b. 17 p.
- WILLIAMS, W. & MARKHAM, R. On/off-highway B-train chip van. FERIC Field Note No.: Loading & Trucking-23, 1991. 2 p.