CARACTERÍSTICAS DE TRAÇÃO DE UM TRATOR AGRÍCOLA
UTILIZANDO-SE DE PNEUS RADIAL E DIAGONAL

ILA MARIA CORRÊA
Engenheira Agrícola

Orientador: Prof. Dr. MARCOS MILAN

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Máquinas Agrícolas

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

DEZEMBRO - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Corrêa, Ila Maria

C824c Características de tração de um trator agrícola
utilizando-se de pneus radial e diagonal. Piracicaba, 1993.
99p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Pneu agrícola - Desempenho 2. Trator agrícola
TDA I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Piracicaba

CDD 631.3

CARACTERÍSTICAS DE TRAÇÃO DE UM TRATOR AGRÍCOLA
UTILIZANDO-SE DE PNEUS RADIAL E DIAGONAL

ILA MARIA CORRÊA

Aprovada em: 11.03.94

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Marcos Milan

ESALQ/USP

Prof. Dr. Luiz Carlos Beduschi

FCA/UNESP

Prof. Dr. Carlos Antônio Gamero

FCA/UNESP

Prof. Dr. MARCOS MILAN

Orientador

Ao meu marido Alvaro e à minha filha
Paula de quem muitas vezes me afas-
tei, com sentimento de culpa, para
cumprir deveres profissionais.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Dr Gastão Moraes da Silveira, o primeiro a incentivar a necessidade de aprimoramento.

A empresa IOCHPE MAXION SA que, sempre atenta às inovações tecnológicas, viabilizou a execução do trabalho cedendo os pneus objeto deste estudo.

A Divisão de Estações Experimentais do Instituto Agronômico pelo empréstimo do trator de tração.

Aos colegas José Valdemar Gonzalez Maziero e Kiyoshi Yanai, que colaboraram na instrumentação do trator e no levantamento de dados em campo.

Aos funcionários da Seção de Máquinas de Tração e de Potência da Divisão de Engenharia Agrícola: Olavo de Freitas Caires, Olívio Prudêncio Ferrer, José Ribeiro Nogueira e Maria Aparecida Ferreira, que participaram da execução e digitação deste trabalho.

Ao Prof. Tomaz Caetano Ripolli, a quem aprendi a admirar, por seu apoio e incentivo.

Ao Prof. Marcos Milan, por assumir a responsabilidade desse trabalho.

A Seção de Técnicas Experimentais e Estatística do Instituto Agronômico, pelo auxílio na análise estatística.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Caracterização dos pneus	4
2.2 Características das condições de solo	7
2.3 Parâmetros e resultados de desempenho	12
3. MATERIAL E MÉTODO	20
3.1 Material	20
3.1.1 Pneus agrícolas	20
3.1.2 Trator de tração	21
3.1.3 Trator de frenagem	22
3.1.4 Local do ensaio	23
3.1.5 Solos	23
3.1.6 Equipamentos utilizados para carac- terização dos solos	24
3.1.7 Equipamentos utilizados na pesagem do trator	25

3.1.8 Equipamentos instalados no trator de tração, para determinação dos parâmetros de desempenho	25
3.2 Métodos	26
3.2.1 Determinação das características físicas do solo	26
3.2.2 Determinação das características da banda de rodagem dos pneus utilizados	28
3.2.3 Determinação das características ponderais do trator de tração	29
3.2.4 Procedimento experimental	30
3.2.5 Cálculo dos parâmetros de desempenho	33
3.2.6 Análise estatística	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Equações de regressão	39
4.2 Avaliação do desempenho na faixa usual de operação	44
4.2.1 Curvas relativas à velocidade de deslocamento	45
4.2.2 Curvas relativas à potência na barra	49
4.2.3 Curvas relativas ao consumo horário	53
4.2.4 Curvas relativas ao consumo específico de combustível	57
4.2.5 Curvas relativas à força de tração	61
4.2.6 Curvas relativas ao coeficiente de tração	65
4.2.7 Análise estatística	69
4.3 Avaliação do desempenho máximo	70
4.4 Discussão geral	72

5. CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICES	83
APÊNDICE 1 - Definição para pneu radial e diagonal	83
APÊNDICE 2 - Características, nomenclatura e configuração da banda de rodagem dos pneus agrícolas	85
APÊNDICE 3 - Resultados obtidos	88
APÊNDICE 4 - Análise de variância das equações de regressão	94

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Características de deflexão dos pneus radial e diagonal	13
Figura 2 - Esquema de frenagem utilizada no experimento	32
Figura 3 - Curvas de velocidade de deslocamento, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A1	45
Figura 4 - Curvas de velocidade de deslocamento, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A2	46
Figura 5 - Relações percentuais para o parâmetro velocidade de deslocamento verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100 %, para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %	48
Figura 6 - Curvas de potência na barra, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem para os três jogos de pneus no local A1	49
Figura 7 - Curvas de potência na barra, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem para os três jogos de pneus no local A2	50
Figura 8 - Relações percentuais para o parâmetro potência na barra verificadas ao se compa-	

rar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100 %, para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %

52

Figura 9 - Curvas consumo horário, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem para os três jogos de pneus no local A1

53

Figura 10 - Curvas consumo horário, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem para os três jogos de pneus no local A2

54

Figura 11 - Relações percentuais para o parâmetro consumo horário, verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100% para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %

56

Figura 12 - Curvas de consumo específico, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A1

57

Figura 13 - Curvas de consumo específico, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A2

58

Figura 14 - Relações percentuais para o parâmetro consumo específico, verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como

100 %, para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %	60
Figura 15 - Curvas de força de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A1	61
Figura 16 - Curvas de força de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A2	62
Figura 17- Relações percentuais para o parâmetro força de tração, verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100% para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %	64
Figura 18 - Curvas de coeficiente de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A1	65
Figura 19 - Curvas de coeficiente de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A2	66
Figura 20 - Relações percentuais para o parâmetro coeficiente de tração, verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados com 100 %, para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20, 25 e 30%	68

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Características ponderais do trator MF 292	22
Tabela 2 - Características do solos	24
Tabela 3 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativas à velocidade de deslocamento considerando os diferentes índices de patinagem	41
Tabela 4 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos à potência na barra considerando os diferentes índices de patinagem	41
Tabela 5 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos ao consumo horário considerando os diferentes índices de patinagem	42
Tabela 6 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos ao consumo específico considerando os diferentes índices de patinagem	42
Tabela 7 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos ao coeficiente de tração considerando os diferentes índices de patinagem	43
Tabela 8 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos à força de tração con-	

siderando os diferentes índices de patina- gem	43
Tabela 9 - Valores de velocidade de deslocamento es- timados pelas equações de regressão espe- cíficas para cada jogo de pneus verifica- cadas ao se comparar o desempenho do tra- tor equipado com pneus R, com o desempe- nho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem	47
Tabela 10 - Valores de potência na barra estimados pelas equações de regressão específicas para cada jogo de pneus verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, consi- derando diferentes índices de patinagem ...	51
Tabela 11 - Valores de consumo horário estimados pe- las equações de regressão específicas pa- ra cada jogo de pneus verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, consi- derando diferentes índices de patinagem	55
Tabela 12 - Valores de consumo específico estimados pelas equações de regressão específicas para cada jogo de pneus verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, consi- derando diferentes índices de patinagem ...	59
Tabela 13 - Valores de força de tração estimados pe-	

las equações de regressão específicas para cada jogo de pneus verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem 63

Tabela 14 - Valores do coeficiente de tração estimados pelas equações de regressão específicas para cada jogo de pneus verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e e D2, considerando diferentes índices de patinagem 67

Tabela 15- Comparação das curvas de desempenho no intervalo de 0 a 30% de patinagem no local A1 69

Tabela 16 - Comparação das curvas de desempenho no intervalo de 0 a 30% de patinagem no local A2 69

Tabela 17 - Valores de FT, PB, Ct máximos e CE mínimo, obtidos para os três jogos de pneus 71

Tabela 18 - Diferença percentual do pneu R em relação a D1 e D2 na condição de desempenho máximo 72

CARACTERÍSTICAS DE TRAÇÃO DE UM TRATOR AGRÍCOLA UTILIZANDO-SE DE PNEUS RADIAL E DIAGONAL

Autora: ILA MARIA CORRÊA

Orientador: Prof. Dr. MARCOS MILAN

RESUMO

Um jogo de pneu radial (18.4R34, 14.9R24) e dois diagonais (18.4-34, 14.9-24) foram avaliados quando instalados em um trator com tração dianteira auxiliar em duas condições de campo: uma tendo superfície contendo restos de cultura de milho recentemente roçada e outra com superfície vegetada. A análise dos dados foi feita pela aplicação do teste *t* de Student a dados pareados, comparando-se os parâmetros de desempenho do jogo de pneu radial com os parâmetros relativos a cada um dos diagonais, considerando a ocorrência de 0 a 30% de patinação bem como, comparando-se os parâmetros na condição de desempenho máximo.

Os resultados mostraram que o pneu radial proporcionou melhores características de tração (força de tração, potência na barra, coeficiente de tração) para

índices de patinagens inferiores a 15%, de modo geral, nas duas condições de campo. Acima de 15% não houve uma tendência geral de comportamento. O consumo específico de combustível não mostrou diferenças significativas.

Na condição de desempenho máximo também não houve uma tendência geral de comportamento.

TRACTIVE CHARACTERISTICS OF A AGRICULTURAL TRACTOR WITH RADIAL PLY AND BIAS PLY TIRES

Author: ILA MARIA CORRÊA

Adviser: Prof. Dr. MARCOS MILAN

A set of radial tires (18.4R34, 14.9R24) and two sets of bias tires (18.4-34, 14.9-24) were evaluated in a mechanical front wheel drive tractor performing at two different field: one with corn stubble and the other a grassed field. The statistical analysis were done by application of Student *t* test to paired data, comparing the tractive performance of radial tires to each set of bias tires within the range of 0 to 30% slip and also by comparing the tractive parameters under condition of maximum performance.

The results showed that the radial tires presented better traction characteristics (drawbar pull, drawbar power and coefficient of traction) than the corresponding bias tires at values lower than 15% slip, in general, at both field conditions. Above 15% slip a general tendency in the behaviour was not observed. Statistically significant differences were not found concerning specific fuel consumption. Under condition of maximum performance a general tendency in the behaviour, was not observed too.

1. INTRODUÇÃO

A busca da melhoria do desempenho de máquinas agrícolas é tão antiga quanto o surgimento delas. No caso de tratores agrícolas, diversos são os pontos a estudar: distribuição de peso; potência no motor; potência na tomada de potência (TDP) e na barra de tração; sistema de transmissão; rodado; sistema hidráulico e outros.

Mesmo fornecendo potência de três maneiras principais, o uso mais generalizado do trator tem sido o de tracionar máquinas e implementos. Diversos são os critérios para apreciar e comparar o desempenho: força de tração na barra, patinagem das rodas motrizes, velocidade de deslocamento, coeficiente de tração, entre outros.

Apesar dos inúmeros trabalhos de pesquisa realizados no exterior, reconhece-se ainda a necessidade de melhorar o desempenho do dispositivo de tração, pois entre 20 a 55% da energia fornecida para as rodas motrizes não estão sendo aproveitadas, (CHARLES, 1984).

Depreende-se de SOUZA (1989) que estudar as possibilidades de conservação de energia na mecanização é uma necessidade do setor agropecuário e, a redução das

perdas no dispositivo de tração insere-se neste contexto.

No Brasil, só recentemente, o estudo de desempenho de pneus agrícolas vem merecendo a atenção de pesquisadores: MILAN (1986) estudou o desempenho de pneumáticos com diferentes desenhos de banda de rodagem e FRANZ (1988) avaliou o desempenho de pneus com diferentes níveis de desgaste. Outros fatores porém, estão a exigir estudos, como por exemplo: o efeito da lastragem, da pressão de inflação e do tipo de construção de pneu.

A introdução do pneu radial¹ em tratores agrícolas foi realizada há mais de trinta anos pela empresa italiana Pirelli Co. (FORREST et al., 1962) e seu uso desde então, generalizou-se rapidamente na Europa e nos Estados Unidos apesar de ser mais caro que o equivalente diagonal; cerca de 10 a 25%, de acordo com BUCKINGHAM (1978). No Brasil, tal tipo de pneu ainda não é disponível comercialmente. As empresas nacionais parecem relutar em introduzi-lo, provavelmente devido ao alto custo de instalação de uma fábrica de montagem, ainda que alguns fabricantes de tratores queiram fazê-lo.

Embora se saiba que outros critérios podem ser adotados para comparar pneus, tais como, durabilidade, resistência, comportamento quanto à vibração, somente o

¹ Definições para pneus radial e diagonal constam do APÊNDICE 1

desempenho de tração foi considerado neste trabalho.

O objetivo deste trabalho foi o de comparar o desempenho de um jogo de pneus radiais com dois jogos de pneus diagonais em um trator com tração dianteira auxiliar (TDA) em duas condições de campo.

Em consequência, espera-se que este estudo aumente o interesse de pesquisadores e fabricantes de pneus e de tratores em desenvolver estudos mais profundos sobre as características de tração dos pneus radiais em diversas condições e tipos de solo brasileiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quando da execução deste trabalho uma das preocupações foi identificar quais itens que seriam importantes para caracterizar os rodados e as condições de solo, em estudos de tração com pneumáticos.

2.1 Caracterização² dos pneus

Segundo YOUNG et al. (1984) e WULFSOHN et al. (1988) as características de tração de um pneu dependem do tipo e condições de solo, de parâmetros físicos do pneu (configuração da banda de rodagem, diâmetro, largura, tipo de construção), da pressão de inflação e da carga sobre o pneu. GILL e VANDEN BERG (1968) explicam que a tração é proveniente de forças transmitidas através da interface solo-pneu. Os dispositivos de tração convertem o movimento de rotação do motor em movimento linear útil.

² A nomenclatura e as características do pneu mencionadas no texto são apresentadas no APÊNDICE 2.

Para TAYLOR (1967), bem como para Dwyer et al. (1974)³ citado por WITTIG & ALCOCK (1990), o solo influi mais na capacidade de tração do que as características de projeto do pneu. Entretanto, dentro de uma dada condição e tipo de solo, a configuração do pneu pode apresentar efeito significativo no desempenho de tração, WULFSOHN et al. (1988).

GEE-CLOUGH et al. (1977a), e outros pesquisadores citados por eles, mostraram que a altura, o espaçamento e o formato da garra afetam o desempenho. Quanto ao ângulo e largura das garras, WULFSOHN et al. (1988) baseados em estudos de Taylor (1973)⁴ afirmam que esses fatores podem ter efeito desprezível no desempenho de tração.

Nos trabalhos consultados, diversos níveis de informação são apresentados com relação às características dos pneus. FORREST et al. (1962) ao comparar pneus radiais e diagonais tamanho 11-38, 4 lonas, consideraram as seguintes características: altura e largura da seção, altura da garra no centro e no flanco do pneu, número de

³ DWYER, M. J.; COMEY, D. R. & EVERNDEN, D. W. The field performance of some tractor tires related to soil mechanical properties. Journal of Agricultural Research. 19: 35-50. 1974.

⁴ TAYLOR, J. H. Lug angle effect on traction performance of pneumatic tractor tires. Transaction of the ASAE. 16 (1): 16-18. 1973.

garras e largura total da seção do pneu.

TAYLOR et al. (1967) estudando o efeito do diâmetro no desempenho de rodas de tração, em canal de solo, especificaram os pneus estudados em termos de largura da seção, diâmetro do aro, número de lonas, pressão de inflação, diâmetro externo e raio carregado.

GEE-CLOUGH et al. (1977a) e GEE-CLOUGH et al. (1977b) especificaram as seguintes características: diâmetro e largura do pneu, altura, relação de aspecto, número de lonas, ângulo, número e altura das garras.

Em estudo que compara o desempenho de três categorias de pneu agrícola tamanho 16.9-24 (R-1, R-3 e R-4) em quatro tipos de solo (canal de solo), TAYLOR (1976) os descreve em função do número de lonas, designação de tamanho, marca e modelo comercial. Informação semelhante é dada por TAYLOR et al. (1976) ao compararem pneu radial e diagonal em solo firme e mobilizado. COATES (1985) informa: designação de tamanho, número de lonas, categoria e diâmetro dos pneus. LYNE et al. (1981) utilizaram pneus 18.4-30, radiais e convencionais caracterizados por espaçamento, quantidade, ângulo e altura das garras.

WULFSOHN et al. (1988) citam o número de lonas, designação de tamanho, largura da seção, diâmetro e raio de rolamento. KOTZABASSIS et al. (1987) e MUELLER & TREANOR (1985) foram mais sucintos: designação, número de lonas e pressão de inflação, carga ou apenas duas destas

características.

Estudando um novo tipo de pneu radial de base larga para a Pirelli, RIMONDI et al. (1985) descrevem dimensões e características de forma mais completa: número de lonas, diâmetro, raio de rolamento, altura da seção, largura do pneu, quantidade, altura, ângulo e largura das garras. Em canal de solo, BURT & LYNE (1985) testaram pneus radiais e convencionais 18.4-34 a determinados índices de patinagens, pressão e carga dinâmica a diferentes velocidades de deslocamento variando de 0,7 a 2,2 km/h, para verificar o efeito desta no desempenho de tração. Apresentam para os pneus testados o nome dos fabricantes e o tipo de banda de rodagem (R-1).

Os cinco pneus 18.4-34 convencionais de diferentes fabricantes, cujos desenhos da banda de rodagem foram estudados por UPADHYAYA (1988) em duas condições de solo sob dois níveis de carga vertical, foram descritos pelas seguintes características: quantidade de garras e tipo das mesmas (se normal, longa e/ou curta).

2.2 Características das condições do solo

VANDEN BERG & REED (1962) trabalhando em canal de solo, caracterizaram-no pelo índice de cone até a profundidade de 250 mm e pelo teor de água e densidade

global às profundidades de 0-75 mm e 75-150 mm. TAYLOR et al. (1967) determinaram estes últimos parâmetros a profundidades de 0-60 mm, 60-130mm e 130-190 mm praticamente os mesmos valores adotados por TAYLOR & BURT (1975): 0-60 mm, 60-120 mm, 120-180 mm e 180-240 mm. Já TAYLOR (1976) nos quatro tipos de solo que estudou variou estas profundidades conforme o tipo de solo e cobertura. Destaca-se aqui as profundidades que foram comuns a dois tipos de solos: 0-70 mm, 70-140 mm e 140-210 mm.

No estudo de TAYLOR et al. (1976) foram caracterizados também a densidade global e o teor de água no solo, não sendo informado a que profundidades foram tomadas.

GEE-CLOUGH et al. (1977a e 1977b) em estudo realizado em condições de campo, informam a classe textural, a condição da superfície, o índice de cone à profundidade de 0-230 mm, bem como o teor de água no solo e o limite de plasticidade, sem especificar, contudo, a que profundidade as leituras foram tomadas.

Os testes conduzidos por LYNE et al. (1981) para comparar pneus radiais e diagonais foram realizados em duas condições de um solo caracterizado por sua série, e pela densidade global e pelo teor de água no solo a profundidades de 0-75 mm e 75-150 mm.

Estudando o efeito da pressão de inflação e da carga em pneus radiais, BURT & BAILEY (1982) utilizaram

canais de solo de classe textural conhecida, caracterizando a condição da superfície (se compactada ou não), bem como o índice de cone, teor de água no solo e densidade global a profundidades de 30 e 250 mm. CHARLES (1984) realizou trabalho semelhante em duas condições de campo (solo arado e solo coberto com alfafa) caracterizando o índice de cone até profundidades de 250 mm e o teor de água no solo, o índice de plasticidade, o limite de liquidez e o de plasticidade na profundidade de 0-100 mm.

WOERMAN & BASHFORD (1984) investigando o desempenho de tratores com tração dianteira auxiliar, determinaram o índice de cone a diversas profundidades, e determinaram a teor de água no solo e a densidade global a profundidade de 0-150 mm.

CLARK (1984) ao comparar tratores com tração em duas e quatro rodas em três tipos de solo, com texturas diferentes refere-se apenas à determinação do teor de água no solo. Comenta que foi atingido o nível necessário para permitir a aração do terreno.

As características do solo onde LYNE et al. (1984) estudaram o efeito de parâmetros do pneu e do motor do trator na eficiência de tração, além de sua série e classe textural, foram tomados o teor de água no solo, a densidade global e o índice de cone às profundidades de 0-75 e 75-150 mm.

Nos solos utilizados por BURT & LYNE (1985)

para analisar o efeito da velocidade de deslocamento no desempenho de tração, além da classe textural previamente conhecida, foram determinados o índice de cone, o teor de água no solo e a densidade global a profundidades de 30 e 120 mm.

COATES (1985) comparando pneus radiais e diagonais em um campo de quatro hectares, apresentou a composição percentual da textura do solo, acrescido do teor de água no solo a 150 mm e do índice de cone de 0-200 mm de profundidade.

MUELLER & TREANOR (1985) informam o local dos testes, sua composição textural e informam a densidade global e o teor de água no solo sem especificar a que profundidades foram tomadas.

Os pneus radiais e convencionais comparados por WULFSOHN et al. (1988) foram testados em solo, com classe textural previamente conhecida, que tiveram as condições físicas (índice de cone, teor de água no solo e densidade global) determinadas para uma camada de até 150 mm. A densidade global, em particular, foi levantada a intervalos de 50 mm.

O único parâmetro físico de solo registrado por KOTZABASSIS et al. (1987) é o índice de cone, sem especificar a profundidade. Apresenta a classificação textural e comenta apenas que os solos eram úmidos.

BASHFORD et al. (1987) ao compararem rodado

simples e duplo no eixo traseiro de um trator com tração nas quatro rodas apresentam a localização da área, as características da superfície e os valores de densidade global, teor de água no solo e índice de cone para a camada de 0-150 mm.

Comparando pneus agrícolas e florestais, em três condições de campo, HASSAN et al. (1987) citam a localização das mesmas, a classificação e composição textural, as características da superfície e o teor de água no solo. O índice de cone foi determinado de 0, 76, 152 e 228 mm de profundidade.

UPADHYAYA (1988) ao estudar em campo, o efeito da banda de rodagem de um pneu convencional, caracteriza o índice de cone, a densidade global e o teor de água no solo às profundidades de 50, 100 e 150 mm.

Os mesmos índices foram determinados por LYNE & BURT (1989) às profundidades médias de 10, 90 e 295 mm, para solo com superfície não mobilizada e a 35 e 310 mm, para solos com superfície mobilizada. Os autores estudaram, em canal de solo, combinações de pressão de inflação e de carga sobre o pneu com vistas à otimização da eficiência de tração.

2.3 Parâmetros e resultados de desempenho

Desde quando surgiu na Europa, o pneu agrícola de construção radial foi objeto de estudo de inúmeros trabalhos de pesquisa, a maioria evidenciando vantagens sobre os convencionais.

Suas características construtivas pré-dispõem o pneu radial a obter tais vantagens. HAUZ (1985)⁵ citado por WULFSOHN & UPADHYAYA (1986) afirma que isto resulta das suas características de deflexão e distribuição de pressão (Figura 1). Os pneus radiais normalmente apresentam área de contato maior que os diagonais de mesmo tamanho, nas mesmas condições de carga e de pressão de inflação.

VANDEN BERG & REED (1962) testaram em canal de solo, doze pneus tamanho 11-28, com e sem garras, com construção radial e diagonal e diferentes largura de aro, em quatro tipos de solos. Os autores concluíram que o pneu radial com garra não afetou a força de tração máxima, mas forneceu um aumento de 15% no coeficiente de tração na faixa de 0 a 30% de patinagem sobre os pneus convencionais.

Comparando o desempenho de tração de um pneu radial e um convencional, em três tipos de solos (em canal de solo) e em concreto, FORREST et al. (1962) verificaram

⁵ HAUZ, F. C. Traction characteristics of radial tractor tires. International Conference on Soil Dynamics. Proceedings. Auburn, Alabama. Vol (4):723-29. June, 1985.

Figura 1 - Características de deflexão dos pneus radial e diagonal. Fonte: Farm Tire Handbook (1984).

que o pneu radial desenvolveu 8%, 23%, 21% e 33% a mais de força de tração em solo arenoso, solo argiloso, solo argilo-arenoso e em concreto respectivamente, para uma faixa de patinação de operação normal. A eficiência de tração nos dois modelos foi semelhante. Os resultados foram confirmados quando repetidos para três pressões de inflação.

THADEN (1962), baseado em testes conduzidos pela Goodyear, manifesta-se de acordo com os resultados de FORREST et al. (1962), tendo encontrado aumento de até 29% na força de tração com pneu radial a 16% de patinação. O autor firma que para altas patinagens, a vantagem do pneu

radial tende a cair, mostrando-se vantajoso numa faixa normal de operação, na maioria das condições de solo.

WORTHINGTON (1962) testou pneus radiais tamanho 11-38 comparando-os com diagonais tamanho 13.6-38. Nos testes, os radiais apresentaram valores maiores de coeficiente de tração a baixa patinagem, mas aproximadamente o mesmo valor com alta patinagem quando em operação em campo com pastagem de alfafa e sobre terreno duro. Em superfície de concreto, os valores de coeficiente de tração foram sempre mais altos para todos os valores de patinagem.

Estudo realizado por TAYLOR et al. (1976) compara o desempenho de um pneu radial e um diagonal 18.4-34, em sete condições de solo, entre os quais, solos firmes, mobilizados, argilosos, argilo-arenosos e em terreno gramado, disponíveis em canal de solo. Suas conclusões principais foram: - o coeficiente de tração obtido para o pneu radial foi de 6 a 18% superior ao diagonal a 15% de patinagem, em cinco das sete condições de solo; - a eficiência de tração do pneu radial foi levemente superior ao diagonal também em cinco das condições. Concluíram ainda que o pneu radial apresentou vantagem maior em superfície firme onde a maior deformação solo-pneu ocorre no pneu, ao contrário do solo mobiliza do em que esta ocorre no solo.

O desempenho de dois pneus radiais e dois diagonais 13.6-38 foi comparado por GEE-CLOUGH et al. (1977b) em várias condições de campo durante três anos. Os

autores concluíram que os radiais fornecem, em média, de 5 a 8% de aumento no coeficiente de tração a 20% de patinação, com nenhuma diferença na eficiência de tração, sob baixa pressão de inflação. Quando a pressão foi aumentada para a máxima permissível o coeficiente e a eficiência de tração caíram para os três pneus.

BURT et al. (1982) testaram pneus radial e diagonal com várias pressões de inflação e de carregamentos estáticos em duas condições de solo. No solo mais úmido, com densidade global mais alta e índice de cone mais baixo, o pneu convencional obteve eficiência de tração mais alta. Isto ocorreu com a carga estática mais alta e pressão de inflação a mais baixa permitida. O pneu radial obteve uma eficiência de tração mais alta a valor intermediário de carga estática e pressão mais baixa. No solo mais seco, menos denso, e alto índice de cone, a eficiência de tração média do pneu radial foi maior do que o convencional.

Trabalho semelhante foi desenvolvido por WULFSOHN & UPADHYAYA (1986). Os autores testaram quatro pneus (18.4R38, 18.4-38, 14.9R28 e 14.9-28) sob duas pressões de inflação e três cargas verticais diferentes, em um solo argiloso previamente mobilizado com arado. Suas principais conclusões foram: - o pneu radial 14.9R28 apresentou desempenho melhor e o radial 18.4R38 apresentou desempenho pior que seus correspondentes convencionais; - ambos os pneus radiais e diagonais 18.4-38 tiveram melhor

desempenho que os correspondentes pneus 14.9-28; - os pneus menores, tanto radial quanto diagonal desenvolveram coeficiente de tração semelhantes para as três cargas verticais; - os pneus radiais (pequenos e grandes) tiveram desempenho semelhante a pressões mais alta e mais baixa).

LYNE et al. (1981) compararam dois pneus 18.4-30 (radiais e diagonais) em duas condições de solo (1: solo subsolado e gradeado; 2: solo gradeado repetidamente até a profundidade de 15 cm) sob quatro níveis de pressão e quatro níveis de carregamento, não encontrando diferenças significativas entre os dois jogos quanto à eficiência e coeficiente de tração.

WULFSOHN et al. (1988) analisaram dados anteriormente apresentados por WULFSOHN & UPADHYAYA (1986), sobre características de tração de quatro pneus (dois radiais e dois diagonais), com o objetivo de: - pesquisar a habilidade de tração com relação ao tipo de construção (radial versus diagonal), à geometria (diâmetro e largura da seção) e ao carregamento do pneu (pressão e carga sobre o eixo); - desenvolver relações quantitativas entre o desempenho do pneu (tração líquida, torque, e patinagem) e parâmetros do solo e pneu. Além de apresentarem os modelos empíricos para coeficiente de tração e de torque, concluíram, entre outras coisas: - que os pneus radiais 18.4R38 apresentaram uma eficiência de tração média na faixa de 0 a 30% de patinagem, 6,8% maior do que o correspondente

diagonal; - que nesta mesma situação e para o coeficiente de tração a 20% de patinagem: os pneus maiores tiveram desempenho melhor que os pequenos, a pressão de inflação não influenciou o desempenho e aumentando o carregamento melhora o desempenho de tração.

MUELLER & TREANOR (1985) estudaram o uso de pneus radiais e diagonais em um trator com tração nas quatro rodas, equipado com rodado simples e duplo. O objetivo foi o de avaliar o desempenho em campo (potência na barra, patinagem e capacidade de campo) bem como avaliar as condições de manobrabilidade, vibração e condução do trator. Nos testes de tração o trator foi operado em duas velocidades de deslocamento (8,05 e 11,27 km/h) e mantida uma distribuição de peso de 60% no eixo dianteiro e 40% no eixo traseiro. Suas conclusões foram: - com rodado simples os radiais, a 8,05 km/h foram significativamente melhores que os diagonais em termos de capacidade de campo e potência na barra; a patinagem, embora menor não foi significativa; à velocidade de 11,27 km/h, entretanto, a patinagem diminuiu significativamente aumentando a capacidade de campo e a potência na barra; - com rodado duplo, todos os parâmetros de desempenho a 8,05 km/h foram maiores com pneus radiais; aumentando-se a velocidade para 11,27 km/h o aumento foi significativamente maior, - com rodado simples, os pneus radiais tiveram também desempenho melhor.

Com o objetivo de avaliar diversos tipos de

pneus disponíveis comercialmente, com base na patinagem, consumo horário e consumo específico, COATES (1985) estudou em condições de campo, dois jogos de pneus radiais e um jogo de pneus convencionais 18.4-38 equipados em um trator com tração nas quatro rodas. Os testes foram realizados em campo arado, nivelado e após várias chuvas, sendo o trator operado em três marchas. As curvas de desempenho (patinagem, consumo horário e específico em função da força de tração) foram levantadas para as três marchas. O pesquisador obteve os seguintes resultados: - a patinagem e o consumo horário do trator com pneu convencional foi igual ou maior do que com pneu radial em determinadas condições de operação; - o consumo específico, entretanto, mostrou pequena ou nenhuma diferença entre os pneus. Concluiu ainda, que para uso em solo mobilizado e para o tipo de trator utilizado a escolha de um pneu radial não pareceu ser vantajosa. Na opinião do autor a escolha para aquelas condições deveria se basear em outros fatores como preço, disponibilidade, garantia e assistência técnica, do que nas afirmações feitas por vendedores ou fabricantes com relação a patinagem reduzida ou economia de combustível. Embora diferenças estatísticas tenham sido encontradas para força de tração variáveis, o consumo específico que relaciona a entrada de energia com o trabalho produzido mostrou pequena ou nenhuma diferença entre os pneus.

OZKAN & YAHYA (1986) ao desenvolverem um

estudo para determinar o tempo de retorno do investimento com pneu radial, basearam-se nos vários níveis de desempenho levantados por diversos pesquisadores. Concluíram que os pneus tornam-se econômicos após um ou dois anos de uso.

Hauz & Akins (1980)⁶, citado por OZKAN & YAHYA (1986) concluíram que o pneu radial simples 20.8-38 produziu eficiências de tração de 11 e 10% a mais do que o correspondente pneu convencional simples em solo gramado e arado, respectivamente.

KOTZABASSIS et al. (1987) realizaram uma série de ensaios de campo com um trator com TDA, a fim de determinar o efeito do pneu radial versus diagonal, com rodado simples e duplo, sobre dois tipos de solo, usando dois implementos diferentes. Concluíram, entre outras coisas, que os pneus radiais: - produziram valores de eficiência de tração mais altos que os diagonais; - apresentaram menos patinagem, maior capacidade de campo e consumo específico praticamente semelhante aos diagonais, confirmando, com relação a consumo, resultado encontrado por COATES, (1985).

⁶ HAUZ, F. C. & AKINS, H. Optimizing tire/vehicle relationships for best field performance. ASAE Paper 80-1021 American Society Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 1980.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1. Pneus agrícolas

Os pneus utilizados no presente trabalho foram:

- a) um jogo de pneus traseiros Pirelli⁷ 18.4-34, TM 64/R, 10 lonas e pneus dianteiros Goodyear 14.9-24, Super Lameiro, 6 lonas comercializados no Brasil;
- b) um jogo de pneus traseiros Pirelli 18.4-34, TM 64/R, 10 lonas e pneus dianteiros Pirelli 14.9-24, 6 lonas; comercializados no Brasil.
- c) um jogo de pneus traseiros Firestone 18.4R34, 7000, 8 lonas, 144A8, e pneus dianteiros Firestone 14.9R24, 126A8, 8 lonas; importados da Espanha.

O primeiro jogo já equipava o trator de tração utilizado.

⁷ A citação de marcas comerciais não indica recomendação pelo autor.

A pressão de inflação dos pneus em todos os testes foi de 95 kPa (14 lbf/pol²) nos pneus dianteiros e de 110 kPa (16 lbf/pol²) nos pneus traseiros.

Embora o objetivo do trabalho fosse o de comparar como um todo o desempenho do trator quando equipado com pneus radial e diagonal, sem identificar possíveis efeitos de alguma característica da banda de rodagem, apresenta-se no Apêndice 2, para efeito de caracterização, as principais medidas e o desenho da banda de rodagem dos pneus.

3.1.2 Trator de tração

Os pneumáticos foram instalados em um trator modelo MF 292 com TDA, novo, fornecido pela Divisão de Estações Experimentais do Instituto Agrônomo. Esse trator, conforme folheto de especificações técnicas⁸, apresentava as seguintes características: motor da marca Perkins com potência máxima de 71,0 kW a 2200 r/min (valores reduzidos pela ABNT, 1985), torque máximo de 363 Nm a 1400 r/min, transmissão com 12 marchas à frente e tomada de potência de 540 r/min (a 1900 r/min no motor).

Para facilitar a frenagem o trator foi operado sem lastro.

As características relativas à distribuição

⁸ Impresso KUNDE 2/92, produzido pelo Depto. de Marketing da MAXION SA, código BRMF 0127.

peso do trator quando equipado com os diferentes jogos de pneumáticos constam da Tabela 1 e levam em conta os pesos do tanque de combustível cheio, do operador, dos equipamentos de medição, do assento instalado no engate de três pontos e do operador do ensaio.

Tabela 1 - Características ponderais do trator MF 292

Condição	Jogos de pneus		
	D1	D2	R
	kN		
Peso dianteiro	15,52	15,59	15,75
Peso traseiro	27,62	28,48	28,55
Peso total	43,14	44,07	44,30

3.1.3 Trator de frenagem

Para oferecer resistência ao trator ensaiado, utilizou-se um trator MF 295, cuja potência máxima do motor é 77 kW a 2200 r/min⁹.

⁹ Prospecto comercial do produto, sem data.

3.1.4 Local do ensaio

A avaliação dos pneus foi realizada em duas áreas de 60 x 300 metros cada, com características de superfície diferentes. A primeira, denominada A1, localizada em terreno pertencente ao Colégio Técnico Agrícola Estadual Benedito Storani, em Jundiaí, com declividade média de 2%, apresentava superfície coberta por capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) e restos de cultura de milho roçada dias antes dos experimentos. A segunda área, denominada A2, localizada na parte interna da pista de ensaio de tratores, na sede da Divisão de Engenharia Agrícola, em Jundiaí, com declividade média inferior a 1%, apresentava superfície vegetada coberta por plantas daninhas diversas, tais como: capim marmelada (*Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch.), capim-colchão (*Digitaria horizontalis* Willd.), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), grama-batatais (*Paspalum notatum* Flüggé), beldroega (*Portulaca oleracea* L.), picão preto (*Bidens pilosa* L.) entre outras.

3.1.5 Solos

A análise granulométrica dos solos apresentou os seguintes valores médios:

- a) Local A1: 26% de areia grossa, 37% de areia fina, 08% de silte e 29% de argila;
- b) Local A2: 28% de areia grossa, 22% de areia fina, 35% de silte e 15% de argila.

De acordo com estes dados, a classe textural dos solos sobre os quais se desenvolveram os experimentos é identificada como de textura média, segundo a escala de Atteberg, utilizada pelo Instituto Agronômico de Campinas, OLIVEIRA et al., (1992).

Na Tabela 2 são apresentadas as características físicas dos solos.

Tabela 2 - Características dos solos

Local	Classe Textural	Profundidade mm	Densidade global g/cm ³	Parcela	Teor de água no solo %	Índice de Cone kPa
A1	Média	0-50	1,06	P1	12,81	2742
		50-100	1,33	P2	12,41	2513
		100-150	1,38	P3	13,25	2174
A2	Média	0-50	1,37	P1	16,75	2547
		50-100	1,43	P2	16,02	2623
		100-150	1,43	P3	14,50	3051

3.1.6 Equipamentos utilizados para caracterização dos solos

a) Balança eletrônica de precisão, marca SARTORIUS, modelo 2214, leitura de 0,1 g.

b) Estufa marca FABBE modelo 170.

c) Anéis volumétricos de aço, com capacidade de 100 cm^3 , castelo, espátula, enxadão e recipientes de alumínio, com tampa, para coleta de amostras de solo.

d) Penetrômetro marca SOLOTEST Ref. S.210, com anel para 981 N (100 kgf), relógio comparador com subdivisões de 0,001 mm, cone padrão (ASAE, 1987) com ângulo sólido de 30° e área da base de 129 mm^2 .

3.1.7 Equipamentos utilizados na pesagem do trator

a) Duas células de carga marca KRATOS, capacidade de 5 e 10 ton, ligadas a indicadores digitais KRATOS modelo BR 103.

b) Duas plataformas de ferro e madeira, tamanhos $850 \times 195 \times 5000 \text{ mm}$ e $870 \times 325 \times 5000 \text{ mm}$.

c) Ponte rolante com duas talhas, capacidade de 19,6 kN (20.000 kgf).

d) Nível de bolha.

3.1.8 Equipamentos instalados no trator de tração, para determinação dos parâmetros de desempenho

a) Célula de carga marca ALFA, capacidade de 10 ton, ligada a indicador digital KRATOS modelo BR 103 e a um registrador numérico: para indicação da força de tração.

b) roda odométrica (roda de bicicleta aro 20), instalada atrás da roda dianteira esquerda do trator: para determinação da velocidade de deslocamento e patinagem.

c) Painel (rack) com seis totalizadores digitais e um cronômetro, ligados em conjunto: para indicação do número de giros das rodas motrizes, roda odométrica, do eixo da TDP e do tempo de percurso.

d) Sensores indutivos ligados a rodas dentadas (com 20 dentes) instaladas nas rodas motrizes do trator e na roda odométrica: para enviar sinais elétricos ao painel, equivalentes aos giros das rodas; no eixo da TDP um ressalto metálico induzia o sensor.

e) Medidor volumétrico de combustível construído e descrito por MAZIERO et al. (1992), com tubos reservatórios de PVC, tubo de vidro graduado, tanque plástico de combustível e eletroválvulas (12 VCC), ligado ao sistema de alimentação do trator com mangueiras de baixa pressão; fluxo de combustível controlado por meio de uma chave elétrica liga/desliga.

g) moto-gerador elétrico marca YANMAR, corrente alternada, 110 V, 2500 W.

h) trena de 30 metros marca LUFKIN.

3.2 Métodos

3.2.1 Determinação das características físicas do solo

A caracterização física do solo, foi feita levando em consideração a densidade global, teor de água no

solo, o índice de cone e a textura: parâmetros, que de acordo com os diversos trabalhos de pesquisa citados na revisão bibliográfica, parecem ser suficientes para tal. O levantamento dos dados foi realizado considerando uma profundidade máxima de 150 mm, uma vez que trabalhando em superfícies firmes como as utilizadas, determinações em profundidades maiores, provavelmente não possibilitariam resultados discrepantes, capazes de influenciar na avaliação do desempenho.

a) Densidade global

A densidade global foi determinada pelo método do anel volumétrico às profundidades de 0-50 mm, 50-100 mm e 100-150 mm, tomando-se 20 amostras de solo em cada área, antes da realização dos ensaios.

b) Umidade do solo

Para a determinação da teor de água do solo foram coletadas 10 amostras de solo em cada parcela, à profundidade de 0-150 mm, antes dos ensaios.

c) Índice de cone

O índice de cone ou resistência à penetração foi obtido introduzindo-se a haste do penetrômetro até a profundidade de 150 mm e fazendo-se a leitura no relógio comparador. Utilizando-se a equação de calibração do aparelho transformou-se a leitura em unidades de força (kgf), e dividindo-se esta, pela área da base do cone (cm^2)

obtinha-se a resistência à penetração em kgf/cm^2 , posteriormente convertida para kPa. Dez leituras foram realizadas ao longo de cada parcela, antes da realização dos ensaios.

d) Granulometria e textura

Para a caracterização da granulometria e textura dos solos foram tomadas duas amostras de solo ao longo de cada parcela, totalizando seis amostras dentro de cada área. A determinação da textura foi realizada pelo laboratório da Seção de Pedologia do Instituto Agronômico.

3.2.2 Determinação das características da banda de rodagem dos pneus utilizados

a) Configuração da banda de rodagem

Utilizando-se papel branco tamanho A2 e papel carbono, pressionou-se cuidadosamente os dois contra a banda de rodagem obtendo-se o desenho geométrico da mesma. Por meio de escalímetro, esquadro, e transferidor determinou-se as medidas de largura, comprimento, ângulo e passo da garra, bem como o vão livre da ponta da garra e a distância entre garras.

b) Altura da garra

A altura da garra foi determinada com um medidor apropriado, construído e descrito por MENEZES &

YANAI (1989). O aparelho consiste, resumidamente em um dispositivo constituído de três hastes reguláveis, que colocado a cavaleiro de uma garra de pneu, permite medir a sua altura, por diferença de elevação entre as extremidades das hastes laterais e central.

3.2.3. Determinação das características ponderais do trator de tração

Para pesar o trator, utilizou-se a infraestrutura da Seção de Máquinas de Tração e de Potência da Divisão de Engenharia Agrícola, que adota o seguinte método:

a) Peso total:

Apoia-se o trator sobre uma das plataformas de ferro e madeira, suspendendo-a por meio de cabos de aço ligado à talha mecânica. As células de carga (localizadas entre os cabos de aço e a talha), ligadas aos indicadores digitais, permitem a obtenção do peso do trator mais a plataforma. Pesa-se a plataforma, isoladamente e, subtraindo-se daquele o peso desta, obtém-se o peso do trator.

b) Peso por eixo (dianteiro/traseiro)

Coloca-se as duas plataformas de alturas diferentes em superfície plana e nivelada, afastadas entre si com uma distância equivalente à distância entre eixos do trator. Previamente, nesta mesma superfície coloca-se o trator, fixandose nele um nível de bolha, no plano médio

longitudinal do trator. Para pesar o eixo traseiro, por exemplo, apoia-se o eixo dianteiro sobre a plataforma mais alta e, aquele sobre a plataforma mais baixa. Suspende-se a plataforma mais baixa até que a bolha do nível indique sua posição nivelada e registra-se os valores indicados pelas células de carga (peso do eixo traseiro mais a plataforma). Subtraindo-se deste, o peso da plataforma, obtém-se o peso do eixo traseiro do trator.

3.2.4 Procedimento experimental

Para levantar as curvas de desempenho (velocidade de deslocamento, potência na barra de tração, consumo horário, coeficiente de tração e força de tração em função da patinagem), o trator deslocou-se no sentido do comprimento da área, retornando ao lado. Nesse retorno, os parâmetros de desempenho também eram medidos.

Cada faixa do terreno onde se utilizou um jogo de pneus foi considerada como parcela. Nas parcelas P1, P2 e P3 do local A1 foram testados os pneus D1, D2 e R, respectivamente. No local A2, as parcelas P1, P2 e P3 correspondem, inversamente aos pneus R, D2 e D1.

O trator de tração foi operado em 3a. marcha, com velocidade máxima de 4,20 km/h. Esta marcha foi escolhida para possibilitar a obtenção de altos índices de patinagens e tração máxima. Em marchas mais altas, o motor não forneceria torque suficiente e a rotação tenderia a

cair para pequenos acréscimos de tração.

Preliminarmente aos testes, o trator deslocou-se em velocidade baixa, sem exercer força de tração na barra, sobre uma superfície adjacente às parcelas. Por meio de hastes de ferro marcou-se no solo, referenciais de início e fim de distância equivalente ao percurso de cinco voltas de cada roda. Essa distância, medida com trena, foi dividida pelo número de voltas para obtenção dos perímetros das rodas dianteiras, traseiras e odométrica.

O trator de tração foi submetido, por meio do trator de frenagem (ver Figura 2) a esforços na barra de tração, com níveis de força crescentes a intervalos desiguais. Com o trator parado, registrava-se a leitura inicial do nível de combustível, na bureta do medidor volumétrico. Após a estabilização do esforço escolhido, ligava-se o medidor de combustível que acionava automaticamente o cronômetro e os contadores de giros.

O indicador digital, não ligado ao medidor volumétrico, era acionado em seguida, imprimindo no papel do registrador os níveis de força de tração. O indicador digital, quando desligado interrompia a impressão, fornecendo a média da força de tração do percurso.

Figura 2 - Esquema de frenagem utilizada no experimento

Percorreu-se uma distância suficiente para que as rodas traseiras do trator de tração acusassem no mínimo dez voltas (distância de 50 metros, aproximadamente). Ao final do percurso, desligava-se o medidor de combustível e registrava-se em planilha os seguintes dados:

- número de giros das rodas dianteiras
- número de giros das rodas traseiras
- número de giros da roda odométrica
- número de giros do eixo da TDP
- tempo de percurso
- força de tração média.
- volume consumido

Antes de selecionar outro nível de carga, abastecia-se a bureta e registrava-se um novo nível de combustível, repetindo-se o processo de medição. O ensaio terminava quando a patinagem das rodas motrizes era tão alta que os pneus cizalhavam o solo arrancando a sua camada superficial.

3.2.5 Cálculo dos parâmetros de desempenho

a) Velocidade de deslocamento

$$V = \frac{(GO \times PO)}{t} \times 3,6 \quad (1)$$

onde:

V = velocidade de deslocamento, em km/h

GO = número de giros da roda odométrica

PO = Perímetro da roda odométrica, em m

t = tempo de percurso, em s

3,6 = constante de conversão de unidades

b) Potência na barra

$$PB = \frac{(F \times V)}{270} \quad (2)$$

onde:

PB = potência na barra, em cv

F = força de tração média do percurso, em kgf

V = velocidade de deslocamento, em km/h

270 = constante de conversão de unidades

c) Patinagem das rodas motrizes dianteiras

$$Pd = \frac{(GD \times PD) - (GO \times PO)}{(GO \times PO)} \times 100 \quad (3)$$

onde:

Pd = patinagem das rodas dianteiras, em %

GD = número de giros das rodas dianteiras

PD = perímetro da roda dianteira, em m

GO = número de giros da roda odométrica

PO = perímetro da roda odométrica, em m

100 = constante para transformação em porcentagem

d) Patinagem da rodas motrizes traseiras

$$Pt = \frac{(GT \times PT) - (GO \times PO)}{(GO \times PO)} \times 100 \quad (4)$$

onde:

Pt = patinagem das rodas traseiras, em %

GT = número de giros das rodas traseiras

PT = perímetro da roda traseira, em m

GO = número de giros da roda odométrica

PO = perímetro da roda odométrica, em m

100 = constante para transformação em porcentagem

e) Consumo horário de combustível

$$CH = \frac{(L_f - L_i) \times 4,5}{t} \times 3,6 \quad (5)$$

onde:

CH = consumo horário de combustível, em L/h

L_f = leitura final do nível de combustível

L_i = leitura inicial do nível de combustível

t = tempo de consumo, em s

4,5 = volume de combustível correspondente à unidade de leitura do nível de óleo Diesel na bureta, em mL

3,6 = constante de conversão de unidades

f) Rotação do motor

$$RM = \frac{(GTDP \times 3,518)}{t} \times 60 \quad (6)$$

onde:

RM = rotação do motor, em r/min

GTDP = número de giros da TDP

3,518 = relação de transmissão motor-TDP

60 = constante de conversão de unidades

h) Coeficiente de tração

Este parâmetro, definido como a relação entre a força de tração e o peso dinâmico do rodado de

tração, representa, segundo SOUZA (1987), o quanto as rodas motoras convertem o peso sobre elas em tração. No caso de trator com tração dianteira auxiliar o coeficiente de tração é determinado dividindo-se a força de tração pelo peso total do trator.

3.2.6 Análise estatística

Com o auxílio de um programa estatístico para ajuste de curvas determinou-se, para cada parâmetro de desempenho, a equação que melhor representasse sua relação de dependência com a patinação. A escolha do modelo foi feita em função do coeficiente de correlação (r) e da projeção do modelo sobre os dados levantados, conforme critério utilizado por FONSECA et al. (1978).

O teste t de Student para pares de dados, a semelhança de procedimento adotado por de DHARAN (1980) foi aplicado para comparar as curvas de desempenho do trator quando equipado com pneu radial com as curvas de desempenho do trator quando provido de cada conjunto de pneus diagonais. Parte-se de uma hipótese nula, isto é, admite-se que não há diferença entre os dois jogos de pneus considerados.

O procedimento foi o seguinte:

- uma vez escolhido o modelo de equação de regressão para um determinado parâmetro, estima-se os valores deste para níveis fixos de patinação.
- para o mesmo nível de patinação, obtinha-se

valores do parâmetro para os dois jogos de pneu considerados.

Para o cálculo de t utiliza-se a seguinte equação:

$$t = \frac{\bar{d}}{Sd} \sqrt{n} \quad (7)$$

onde:

$\bar{d}$ = média das diferenças

n = número de observações pareadas

Sd = desvio padrão das diferenças

O desvio padrão das diferenças (Sd) foi calculado pela fórmula:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2/n}{n-1}} \quad (8)$$

onde:

d = diferença entre os valores estimados pelas equações dos dois jogos de pneus comparados

O valor de t é comparado então, com os valores de t das tabelas estatísticas. Se o valor obtido for mais alto que o da tabela a hipótese de nulidade é rejeitada, indicando que há diferença estatística entre os dois jogos de pneus ao nível de significância adotado, (5 %).

A análise foi feita considerando-se uma faixa

de 0 a 30 % patinagem, uma vez que é nesse intervalo que ocorre a maioria das operações agrícolas realizadas com trator. Acima dessa faixa, a avaliação do desempenho perde o sentido prático pois a perda de energia do rodado é muito alta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Equações de regressão

Com os dados levantados no campo foram calculados os parâmetros de desempenho (APÊNDICE 3) e, com estes as equações de regressão características do desempenho do trator, cujos coeficientes são apresentados nas Tabelas 3 a 8. Na determinação das equações os índices de patinagem atípicos - considerados erros de amostragem - foram desprezados.

As equações de regressão determinadas para a relação entre a velocidade de deslocamento (V, em km/h) e a patinagem (P, em %) tem a forma:

$$V = a + (b \times P) \quad (9)$$

onde:

a, b = coeficientes

As equações de regressão determinadas para os parâmetros potência na barra (PB, em kW), consumo horário

(CH, em L/h), consumo específico (CE, em g/kW.h), coeficiente de tração (CT) e força de tração (FT, em kN) apresentam, respectivamente as formas:

$$PB = c \times P^{(d + e \times \log P)} \quad (10)$$

$$CH = f \times P^{(g + h \times \log P)} \quad (11)$$

$$CE = i \times P^{(j + k \times \log P)} \quad (12)$$

$$CT = l \times P^{(m + n \times \log P)} \quad (13)$$

$$FT = o \times P^{(r + s \times \log P)} \quad (14)$$

onde:

$c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, r$ e s = coeficientes

As equações foram determinadas com o objetivo de fazer comparações entre os pneus, para um mesmo índice de patinagem, não tendo a finalidade de estabelecer modelos de predição de tração.

A análise de variância das equações de regressão são apresentadas no APÊNDICE 4.

Tabela 3 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos à velocidade de deslocamento considerando os diferentes índices de patinagem

Pneu	Coeficiente das equações		Coeficiente de correlação
	α	b	(r)
No local A1			
R	4,187573	- 0,04470487	- 0,9990
D1	4,148311	- 0,04356647	- 0,9990
D2	4,116974	- 0,04247230	- 1,0000
No local A2			
R	4,202569	- 0,04433790	- 0,9990
D1	4,192994	- 0,04503260	- 0,9990
D2	4,135018	- 0,04306758	- 0,9990

Tabela 4 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos à potência na barra considerando os diferentes índices de patinagem

Pneu	Coeficiente das equações			Coeficiente de correlação
	c	d	e	(r)
No local A1				
R	2,767033	1,200396	- 0,4518817	0,9641
D1	0,312938	2,642756	- 0,9521839	0,9893
D2	0,1917559	3,158958	- 1,2001530	0,9911
No local A2				
R	3,723548	1,436360	- 0,6039593	0,9879
D1	2,670542	1,449213	- 0,5442191	0,9884
D2	2,884654	1,542684	- 0,6418428	0,9737

Tabela 5 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos ao consumo horário de combustível considerando os diferentes índices de patinagem.

Pneu	Coeficiente das equações			Coeficiente de correlação
	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	(<i>r</i>)
No local A1				
R	7,915383	0,1801371	- 0,0055471	0,9857
D1	6,191823	0,3660614	- 0,0819632	0,9742
D2	5,947030	0,3758709	- 0,0831548	0,9948
No local A2				
R	8,326410	0,2302126	- 0,0443386	0,99906
D1	8,729441	0,1128593	+ 0,0249711	0,9851
D2	8,392759	0,1921776	- 0,0278944	0,9909

Tabela 6 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos ao consumo específico considerando os diferentes índices de patinagem

Pneu	Coeficiente das equações			Coeficiente de correlação
	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	(<i>r</i>)
No local A1				
R	2406,646	- 1,094131	0,4484331	0,9463
D1	15742,87	- 2,224208	0,8426840	0,9866
D2	25948,43	- 2,781010	1,1161790	0,9803
No local A2				
R	2022,147	- 1,284476	0,597380	0,9827
D1	2732,599	- 1,332839	0,5675320	0,9883
D2	2489,928	- 1,366310	0,6205348	0,9529

Tabela 7 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos ao coeficiente de tração considerando os diferentes índices de patinagem

Pneu	Coeficiente das equações			Coeficiente de correlação
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	(<i>r</i>)
No local A1				
R	0,06105174	1,091736	- 0,2781786	0,9766
D1	0,00930408	2,225644	- 0,6655470	0,9927
D2	0,00528408	2,771474	- 0,9130496	0,9896
No local A2				
R	0,07581260	1,327021	- 0,4549314	0,9890
D1	0,05335828	1,389816	- 0,4263812	0,9925
D2	0,06171502	1,365196	- 0,4447758	0,9809

Tabela 8 - Coeficientes estimados para as equações de regressão relativos à força de tração considerando os diferentes índices de patinagem

Pneu	Coeficiente das equações			Coeficiente de correlação
	<i>o</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	(<i>r</i>)
No local A1				
R	2,669646	1,105156	- 0,2849146	0,9791
D1	0,392664	2,242130	- 0,6714784	0,9944
D2	0,2568448	2,698579	- 0,8849709	0,9905
No local A2				
R	3,322117	1,334683	- 0,4578564	0,9898
D1	2,392325	1,345898	- 0,4037664	0,9934
D2	2,738870	1,349017	- 0,4394686	0,9801

4.2 Avaliação do desempenho na faixa usual de operação

Como a patinação das rodas motrizes ocorre na faixa de 0 a 30 %, quando os tratores realizam a maioria das operações agrícolas, esse intervalo tem sido usado por alguns pesquisadores para avaliar o desempenho dos pneumáticos, entre eles, GEE-CLOUGH et al.(1977b) e WULFSOHN et al.(1988), bem como Cavalchini (1978)¹⁰ e Vasey & Naylor (1958)¹¹ citados por MILAN (1986).

Por outro lado, o índice de 20% de patinação utilizado por GEE-CLOUGH et al. (1977b) e WULFSOHN et al. (1988) para analisar o coeficiente de tração líquida também é adotado por alguns fabricantes de tratores para avaliar o desempenho de seus produtos em condições de campo e pode ser um índice de referência razoável para ensaios de campo.

A não existência de uma metodologia específica para comparar desempenho de pneumáticos assim como o estabelecimento de um índice de patinação que forneça o melhor desempenho, são questões levantadas por MILAN (1986) e que ainda aguardam uma definição.

De forma semelhante a MILAN (1986), optou-se

¹⁰ CAVALCHINI, A. G. Test of TM 300 Pirelli radial tractor tires. Milan, Instituto di Ingegneria Agraria. 13p. 1978

¹¹ VASEY, G. H. & NAYLOR, I. T. Field tests on 14-30 tractor tyres. Journal of Agriculture Engineering Research. 3:1-8. 1958

por analisar o desempenho do trator equipado com os pneumáticos em estudo, na faixa de 0 a 30%, destacando valores a intervalos de 5% em 5 % de patinação.

4.2.1 Curvas relativas à velocidade de deslocamento

Com os dados estimados pelas equações de regressão foram elaborados os gráficos da velocidade de deslocamento considerando os diferentes índices de patinação, os quais são mostrados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Curvas de velocidade de deslocamento, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A1

Figura 4 - Curvas de velocidade de deslocamento, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A2

Utilizando as equações de regressão apresenta-se na Tabela 9 os valores estimados para velocidade de deslocamento quando ocorrem índices de patinações de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %. As diferenças que se verificam quando se compara o pneu radial com cada um dos outros considerados como 100 % são apresentados nos histogramas da Figura 5. Observa-se que o pneu radial possibilitou maior velocidade

de deslocamento em toda a faixa analisada.

Tabela 9 - Valores de velocidade de deslocamento estimados pelas equações de regressão específicas para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneu R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem.

Patinagem	Velocidade de deslocamento		
	R	D1	D2
%	km/h		
	No local A1		
5	3,96	3,93	3,90
10	3,74	3,71	3,69
15	3,52	3,49	3,48
20	3,29	3,28	3,27
25	3,07	3,06	3,06
30	2,85	2,84	2,84
	No local A2		
5	3,98	3,97	3,92
10	3,76	3,74	3,70
15	3,54	3,52	3,49
20	3,32	3,29	3,27
25	3,09	3,07	3,06
30	2,87	2,84	2,84

Figura 5 - Relações percentuais para o parâmetro velocidade de deslocamento verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100 %, para índices de patinação de 5, 10, 15, 20 25 e 30 %.

4.2.2 Curvas relativas à potência na barra

As curvas de relativas à potência na barra, considerando diferentes índices de patinagem, elaboradas com base nos dados observados e nos estimados pelas equações de regressão são mostradas nas Figuras 6 e 7.

Utilizando as equações de regressão apresentada-se na Tabela 10, os valores estimados para a potência na barra, quando ocorrem índices de patinagem de: 5, 10, 15, 20, 25 e 30 %. As diferenças percentuais que se verificam quando se compara o pneu radial com cada um dos outros pneus são apresentadas nos histogramas da Figura 8.

Figura 6 - Curvas de potência na barra, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A1.

Figura 7 - Curvas de potência na barra, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A2

Observa-se que as maiores diferenças de potência na barra ocorreram quando o índice de patinagem se situou abaixo de 15 %, exceto para o pneu R quando comparado a D2, no local A1, enquanto que, no intervalo compreendido entre 12% a 27,5% de patinagem houve uma inversão no comportamento das curvas.

Os resultados em termos de comportamento geral estão de acordo com os obtidos por MUELLER & TREANOR (1985). Nesse trabalho, os autores encontraram valores

correspondentes a 7,6 e 5,9 % a mais de potência na barra de tração para o pneu radial. Cabe ressaltar no entanto, que as condições em que o trabalho foi realizado eram diferentes das existentes na presente pesquisa.

Tabela 10 - Valores de potência na barra estimados pelas equações de regressão específicos para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem.

Patinagem	Potência na Barra		
	R	D1	D2
%	kW		
	No local A1		
5	12,86	7,54	8,02
10	18,22	15,35	17,44
15	20,47	19,34	21,77
20	21,38	20,99	22,97
25	21,62	21,33	22,56
30	21,51	20,97	21,40
	No local A2		
5	19,05	14,92	16,78
10	25,31	21,46	22,96
15	26,60	23,89	24,36
20	26,15	24,60	24,03
25	25,04	24,49	23,03
30	23,71	23,98	21,80

de tração para o pneu radial. Cabe ressaltar no entanto, que as condições em que o trabalho foi realizado eram diferentes das existentes na presente pesquisa.

Tabela 10 - Valores de potência na barra estimados pelas equações de regressão específicos para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinação.

Patinagem	Potência na Barra		
	R	D1	D2
%	kW		
	No local A1		
5	12,86	7,54	8,02
10	18,22	15,35	17,44
15	20,47	19,34	21,77
20	21,38	20,99	22,97
25	21,62	21,33	22,56
30	21,51	20,97	21,40
	No local A2		
5	19,05	14,92	16,78
10	25,31	21,46	22,96
15	26,60	23,89	24,36
20	26,15	24,60	24,03
25	25,04	24,49	23,03
30	23,71	23,98	21,80

Figura 8 - Relações percentuais para o parâmetro potência na barra verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100 %, para índices de patinação de 5, 10, 15, 20 25 e 30 %.

4.2.3 Curvas relativas ao consumo horário

As curvas de consumo horário de combustível, considerando os diferentes índices de patinagem elaboradas com os dados estimados pelas equações de regressão são mostradas nas Figuras 9 e 10.

Valores estimados de consumo horário para os três jogos de pneus são apresentados na Tabela 11, enquanto que as diferenças que se verificam quando se compara o pneu radial com cada um dos outros pneus são apresentadas nos histogramas da Figura 11.

Figura 9 - Curvas de consumo horário, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A1

Figura 10 - Curvas de consumo horário, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A2

De maneira geral (exceto com relação a D1 no local A1, para patinações acima de 10 %) o pneu R consumiu mais combustível na faixa de patinação considerada, o que se explica pelo desenvolvimento de maior potência na barra. As diferenças percentuais em prejuízo do pneu R foram no máximo 6,5 % nessa faixa de patinação.

Esse parâmetro, embora não represente o aproveitamento de combustível em termos de trabalho, é

sempre um bom índice para estimativas de custo de operação agrícola, e por isso foi incluído na análise.

Trabalho comparativo entre pneus do tipo radial e diagonal realizado por COATES (1985) evidencia maior consumo horário para o pneu radial quando se trata de marchas mais altas (velocidade de 14,2 km/h, livre). Em marchas mais baixas (7,2 e 10,8 km/h, livre) o resultado foi inverso para uma dada condição (força de tração baixa).

Tabela 11 - Valores de consumo horário estimados pelas equações de regressão específicos para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem.

Patinagem	Consumo horário		
	R	D1	D2
%	L/h		
	No local A1		
5	10,51	10,18	9,92
10	11,83	11,91	11,67
15	12,67	12,85	12,63
20	13,29	13,47	13,26
25	13,79	13,91	13,72
30	14,21	14,25	14,06
	No local A2		
5	11,47	10,77	11,08
10	12,77	11,99	12,25
15	13,49	12,83	12,92
20	13,96	13,49	13,39
25	14,31	14,05	13,74
30	14,58	14,53	14,03

Figura 11 - Relações percentuais para o parâmetro consumo horário verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, tomados como 100 %, para índices de patinação 5, 10, 15, 20 25 e 30 %.

4.2.4 Curvas relativas ao consumo específico de combustível

Os gráficos contendo as curvas de consumo específico são mostrados nas Figuras 12 e 13. Valores estimados de consumo específico para os três jogos de pneus são apresentados na Tabela 12.

As relações percentuais que se verificam quando se compara o pneu radial com cada um dos outros, considerados como 100 %, são apresentadas nos histogramas da Figura 14.

Figura 12 - Curvas de consumo específico, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A1

Figura 13 - Curvas de consumo específico, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A2

Exceto com relação ao pneu D2 no local A1 o pneu R apresentou menor consumo específico. Para aquele pneu e local a vantagem do pneu R mostrou-se apenas quando o índice de patinação se situou abaixo de 10 %, enquanto que em relação aos demais pneus e local A2 a vantagem se verificou em toda a faixa de patinação considerada, embora tal vantagem não tenha sido significativa.

Os resultados conferem com o de KOTZABASSIS et al. (1987), que em estudo comparativo de pneu radial e diagonal em trator com TDA sobre dois tipos de solos, conclui que o

Tabela 12 - Valores de consumo específico estimados pelas equações de regressão específicos para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinação.

Patinagem	Consumo específico		
	R	D1	D2
%	g/kW.h		
	No local A1		
5	685,1	1132,7	1037,3
10	544,1	653,9	562,2
15	518,7	558,2	487,7
20	521,2	536,6	485,6
25	534,8	542,6	511,6
30	554,2	562,6	553,3
	No local A2		
5	501,0	638,9	555,1
10	415,6	552,9	447,1
15	418,3	523,8	444,2
20	442,4	553,0	466,6
25	476,0	594,6	499,9
30	515,1	643,5	539,4

consumo específico de combustível foi o mesmo para os dois tipos de pneus.

Da mesma forma, COATES (1985) encontrou em solo mobilizado diferenças mínimas de consumo específico entre pneu radial e diagonal admitindo porém, que esse resultado poderia ser bastante diferente para outro trator ou em solo de maior resistência.

Figura 14 - Relações percentuais para o parâmetro consumo específico verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2 tomados como 100 %, para índices de patinagens de 5, 10, 15, 20 25 e 30 %.

4.2.5 Curvas relativas à força de tração

As curvas de força de tração são apresentadas nas Figuras 15 e 16 e, na Tabela 13 são mostrados os valores estimados de força de tração para os três jogos de pneus.

As relações percentuais que se verificam quando se compara o pneu radial com cada um dos outros, considerados como 100 %, são apresentadas nos histogramas da Figura 17.

Figura 15 - Curvas de força de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A1

Figura 16 - Curvas de força de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A2

A força de tração na barra em um trator é, talvez, o parâmetro mais expressivo, para caracterizar a capacidade de tração do veículo. Associada à velocidade que o veículo pode desenvolver para exercê-la, é de grande valia na adequação trator-implemento. Por sua importância é um dos itens mais estudados e citados na literatura. As informações encontradas a respeito da vantagem do pneu radial são bastante amplas. De maneira resumida, pode-se dizer que a literatura cita valores de até 33% a mais de força de tração na barra possibilitados com o uso de pneus

radiais, dentro da faixa de 0 a 30 % de patinagem.

No presente trabalho verifica-se pela Tabela 13 que a vantagem foi mais evidenciada abaixo de 15% de patinagem, confirmando resultado encontrado por FORREST et al. (1962): que a vantagem do pneu radial tende a cair para altos índices de patinagem, mostrando-se melhor na faixa normal de operação na maioria das condições de solo. No local A1, com relação ao jogo de pneu D2 houve discrepância nos resultados gerais.

Tabela 13 - Valores de força de tração estimados pelas equações de regressão específicos para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem.

Patinagem	Força de tração		
	R	D1	D2
%	kN		
	No local A1		
5	11,47	6,81	7,30
10	17,65	14,61	16,72
15	21,48	20,05	22,88
20	24,10	23,69	26,48
25	25,98	26,07	28,36
30	27,37	27,60	29,17
	No local A2		
5	17,01	13,25	14,65
10	25,02	20,94	22,24
15	28,70	25,31	26,08
20	30,40	27,95	28,11
25	31,08	29,60	29,15
30	31,18	30,61	29,60

Figura 17 - Relações percentuais para o parâmetro força de tração verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2 tomados como 100 %, para índices de patinagem de 5, 10, 15, 20 25 e 30 %.

4.2.6 Curvas relativas ao coeficiente de tração

Os gráficos contendo as curvas de coeficiente de tração são apresentadas nas Figuras 18 e 19.

Valores estimados de coeficiente de tração para os três jogos de pneus são apresentados na Tabela 15. As relações percentuais que se verificam quando se compara o pneu radial com cada um dos outros, considerados como 100 %, são apresentadas nos histogramas da Figura 20.

Figura 18 - Curvas de coeficiente de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinação, para os três jogos de pneus no local A1

Figura 19 - Curvas de coeficiente de tração, dados observados e estimados, considerando diferentes índices de patinagem, para os três jogos de pneus no local A2

Também com relação a esse parâmetro, o pneu R mostrou, principalmente abaixo de 15% de patinagem, melhor aproveitamento do peso do trator em força de tração na barra, apesar de no local A1 não ter sido significativo.

LYNE et al. (1981) obtiveram valores de coeficiente de tração em solo mobilizado, em torno de 0,3 na faixa de 10 a 19% de patinagem, tanto para o pneu radial como para o diagonal e concluíram que as diferenças não foram significativas. Por outro lado, no item 2.3 diversas

citações são feitas indicando que o pneu radial apresentou o coeficiente de tração superior ao pneu diagonal.

A exceção encontrada no local A1 talvez possa ser justificada pelo tipo de cobertura mais seca (restos de cultura de milho) que predominava, juntamente com o teor de água do solo, mais baixo que o do local A2. Afinal, os valores de força de tração também foram inferiores neste local para os mesmos níveis de patinagem (Tabela 13).

Tabela 14 - Valores de coeficiente de tração estimados pelas equações de regressão específicos para cada jogo de pneus verificados ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2, considerando diferentes índices de patinagem.

Patinagem %	Coeficiente de tração		
	R	D1	D2
No local A1			
5	0,26	0,16	0,21
10	0,40	0,34	0,33
15	0,48	0,46	0,42
20	0,54	0,55	0,51
25	0,59	0,60	0,57
30	0,62	0,64	0,62
No local A2			
5	0,38	0,31	0,34
10	0,56	0,49	0,51
15	0,65	0,59	0,60
20	0,69	0,65	0,64
25	0,70	0,69	0,67
30	0,70	0,70	0,68

Figura 20 - Relações percentuais para o parâmetro coeficiente de tração verificadas ao se comparar o desempenho do trator equipado com pneus R, com o desempenho do mesmo trator equipado com pneus D1 e D2 tomados como 100 %, para índices de patinação de 5, 10, 15, 20 25 e 30 %.

4.2.7 Análise estatística

Os resultados da aplicação do teste t de student ao nível de 5% de probabilidade para comparar os jogos de pneus R e D1, bem como R e D2 são apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Comparação das curvas de desempenho no intervalo de 0 a 30% de patinagem no local A1

Parâmetro	R x D1	R x D2
Velocidade de deslocamento	*	*
Potência na barra	*	*
Consumo horário	n.s.	*
Consumo específico	n.s.	n.s.
Coefficiente de tração	*	n.s.
Força de tração	*	*

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade
n.s. Não significativo

Tabela 16 - Comparação das curvas de desempenho no intervalo de 0 a 30% de patinagem no local A2

Parâmetro	R x D1	R x D2
Velocidade de deslocamento	*	*
Potência na barra	*	*
Consumo horário	*	*
Consumo específico	n.s.	n.s.
Coefficiente de tração	*	*
Força de tração	*	*

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade
n.s. Não significativo

4.3 Avaliação do desempenho máximo

Para a avaliação dessa condição adotou-se critério semelhante ao utilizado por MILAN (1986) para comparar pneumáticos. O autor considera como desempenho máximo os maiores valores encontrados para os parâmetros força de tração na barra (FT), potência na barra (PB) e coeficiente de tração (CT), bem como o menor valor de consumo específico (CE) na faixa de patinagem medida em campo.

A comparação destes valores e os níveis de patinagem (P) com que foram obtidos são mostrados na Tabela 17.

Sob este enfoque (desempenho máximo) a Tabela 17 mostra que no local A1, o pneu radial apresentou desempenho melhor, tendo em vista os valores absolutos de FT e CT, o que não foi de toda uma vantagem uma vez que para isso se verificou maior índice de patinagem. Os níveis de patinagem situaram-se acima de 30 % para os parâmetros FT e CT, enquanto que para PB e CE a patinagem ocorreu dentro da faixa de 0 a 30 %. Em termos de aproveitamento de combustível o pneu R mostrou-se inferior aos demais neste local embora, tenha proporcionado menos perda de energia (menor patinagem).

Tabela 17 - Valores de FT, PB, CT máximos e CE mínimo, obtidos para os três jogos de pneus

Pneu	Parâmetros			
	FT	PB	CT	CE
	kN (P, %)	kW (P, %)	(P, %)	g/kW.h (P, %)
No local A1				
R	30,96 (60,00)	21,62 (25,45)	0,70 (60,00)	517,66 (16,88)
D1	29,22 (46,70)	21,34 (24,41)	0,67 (54,85)	536,24 (20,90)
D2	29,30 (33,51)	22,99 (20,70)	0,67 (33,15)	480,68 (17,61)
No local A2				
R	31,20 (28,70)	26,60 (15,50)	0,70 (28,77)	412,43 (11,89)
D1	31,65 (46,41)	24,62 (21,51)	0,72 (42,61)	450,86 (14,93)
D2	29,70 (35,10)	24,38 (16,00)	0,68 (33,50)	440,65 (12,61)

No local A1, para os parâmetros FT, PB e CT máximos os níveis de patinagem se situaram acima de 15%.

O pneu R desenvolveu maior PB e menor CE (exceto com relação a D2 no local A1), vantagem reforçada pela menor patinagem com que obteve estes parâmetros, perdendo em FT e CT para o pneu D1 que apresentou os maiores valores.

Tabela 18 - Diferença percentual do pneu R em relação D1 e D2 na condição de desempenho máximo

Pneu	Parâmetros			
	FT	PB	CT	CE
<div style="text-align: center;"> <hr style="width: 100%;"/> % <hr style="width: 100%;"/> </div>				
No local A1				
RxD1	5,96	1,36	4,48	3,47
RxD2	5,57	- 5,96	4,48	7,69
No local A2				
RxD1	- 1,42	8,04	- 2,78	- 8,52
RxD2	5,05	9,11	2,94	- 6,40

4.4 Discussão geral

Em um trabalho desta natureza, em que a influência da banda de rodagem, marcas de fabricação, do uso da tração dianteira, da resistência ao rolamento e/ou outras, não pode ser detectada, é natural que os resultados não sejam definitivos ou absolutos. As condições muito restritas com que foi realizado o trabalho não permitem generalizações.

Pelo apresentado nos itens 4.2 e 4.3, verifica-se que o uso do pneu radial, de modo geral, mostrou maior vantagem sobre os diagonais utilizados em termos de

características de tração para níveis de patinagem abaixo de 15%, independentemente da condição de solo e superfície.

Os valores absolutos de força de tração, potência na barra, consumo específico e coeficiente de tração obtidos no local A1 e comparados com os obtidos em A2, podem ser indícios de que a superfície do solo exerceu efeito negativo para os três jogos de pneus utilizados.

Ao par dos resultados técnicos positivos obtidos não se pode esquecer a ponderação custo/benefício para a adoção deste tipo de pneumático a nível nacional. Este enfoque, juntamente com a exploração de uso em outras condições de solo e/ou superfície brasileiros devem ser considerados em estudos futuros.

A relativa dificuldade na execução e avaliação deste trabalho, faz evidenciar a necessidade de uma discussão geral sobre metodologia de avaliação de pneumáticos, envolvendo técnicos de empresas públicas e privadas. Espera-se que os resultados aqui apresentados ajude a despertar este interesse.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi realizado e considerando o fato de que a patinação das rodas motrizes dos tratores, quando realizam a maioria das operações agrícolas, ocorre na faixa de 0 a 30 %, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) Ocorreram diferenças significativas a favor do pneu radial quando comparado aos diagonais (D1 e D2), para os parâmetros velocidade de deslocamento, força de tração e potência na barra, nas duas condições de campo trabalhadas.
- b) O parâmetro coeficiente de tração mostrou diferenças significativas a favor do pneu radial em relação a ambos os diagonais (D1 e D2), apenas no local com superfície vegetada. No local com superfície coberta por material mais seco, o pneu radial não apresentou diferença significativa quando comparado aos diagonais.
- c) Na condição de desempenho máximo, não houve uma tendência definida de comportamento, uma vez que na área com superfície vegetada o pneu radial desenvolveu maior

força de tração e apresentou valor de coeficiente de tração maior que os demais, perdendo, entretanto, no que diz respeito à potência na barra e consumo específico de combustível quando comparado ao diagonal D2 (que apresentou os maiores valores). Ao contrário, na área em que a superfície estava coberta por material mais seco, constatou-se, a superioridade do pneu R no que diz respeito à potência na barra e coeficiente de tração, perdendo, em termos de força de tração, para o pneu diagonal D1 (que apresentou os maiores valores).

- d) Observou-se uma tendência do pneu R, de apresentar melhor desempenho geral para patinagens inferiores a 15 %; acima desse nível as diferenças tendem a diminuir e até a se inverter quando confrontado com os diagonais D1 e D2, nas duas condições de campo trabalhadas.
- e) O resultado geral foi aparentemente positivo para o pneu radial, entretanto, seu emprego deve ser amplamente estudado em outras condições de solo e superfície antes de ser adotado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - Soil cone penetrometer - ASAE S313.2 St. Joseph, MI. 1989.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Uniform terminology for traction of agricultural tractors, self-propelled implements, and other traction and transport devices. ASAE S296.3, St. Joseph, MI. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5484 - Motores alternativos de combustão interna de ignição por compressão (Diesel) ou ignição por centelha (Otto) de velocidade variável - Método de Ensaio. 1985.

- NBR 104000 - Tratores Agrícolas - Determinação das características técnicas e de desempenho - Método de Ensaio. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PNEUS E AROS - Manual de Normas Técnicas de Pneus, Aros e Válvulas. São Paulo. 1989.

BASHFORD, L. L.; BARGEN, K.V.; WAY, T. R. & XIAOXIAN, L. Performance comparisons between duals and singles on the rear axle of a front wheel assist tractor. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 30(3): 641-45, May-June, 1987.

- BUCKINGHAM, F. Will radials roll to dominance in agriculture? Implement and Tractor. May 7, 1978.
- BURT, E. C. & BAILEY, A. C. Load and inflation pressure effects on tires. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 25(4): 881-84. 1982.
- BURT, E. C. & LYNE, P. W. L. Velocity effects on traction performance. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 28(6): 1729-30. Nov-dec, 1985.
- BURT, E. C.; LYNE, P. W. L. & KEEN, J. F. Ballast and inflation pressure effects on tractive efficiency. ASAE Paper 82-1567. American Society Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 1982.
- CHARLES, S. M. Effect of ballast and inflation pressure on tractor tire performance. Agricultural Engineering. St. Joseph, MI. 65(2): 11-13. Feb., 1984.
- CLARK, R. L. Tractor performance in two-and-four-wheel drive. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 27(1): 8-11. 1984.
- COATES, W. Comparison of bias and radial tractor tires on soft soil. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 28(4): 1090-93. Jul-ago, 1985.
- DHARAN, M. Control de calidad en los laboratorios clínicos. Barcelona, Révert SA. 1980. 309 p.
- FARM TIRE HANDBOOK. Meredith Corporation. EUA, 1984. 37p.
- FONSECA, J. S. da; MARTINS, G. de A. & TOLEDO, G. L. Estatística Aplicada. São Paulo, Atlas. 1978. 273 p.

- FORREST, P. J.; REED, I. F. & CONSTANTAKIS, G. V. Tractive characteristics of radial-ply tires. Transactions of the ASAE. St. Joseph, MI. 5(2):108,115. March-april, 1962.
- FRANZ, C. A. B. Avaliação do desempenho de pneumáticos de tratores agrícolas com diferentes níveis de desgaste. Santa Maria (RS), 1988. 76 p. (Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria).
- GEE-CLOUGH, D.; McALLISTER, M. & EVERNDEN, D. W. Tractive performance of tractor drive tyres. I. The effect of lug height. Journal of Agricultural Engineering Research. Silsoe, Bd. 22(4): 373-84. 1977.
- GEE-CLOUGH, D.; McALLISTER, M. & EVERNDEN, D. W. Tractive performance of tractor drive tyres. II. A comparison of radial and cross-ply carcass construction. Journal of Agricultural Engineering Research. Silsoe, Bd. 22(4): 385-95. 1977.
- GILL, W. R. & VANDEN BERG, G. E. Soil dynamics in tillage and traction. Agricultural Handbook 316, U.S. dept. of Agric. Government Printing Office, Washington, DC. 324p. 1968.
- HASSAN, A. E.; OAKLEY, R. CULSHAW, D. & DAWSON, J. R. Comparison tests of a forestry and agriculture tire. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 30(6): 1562-68. Nov-Dec, 1987.
- KOTZABASSIS, C.; STOUT, B. A.; SEARCY, S. W. & FELSENSTEIN, G. FWA tractor performance with radial and bias-ply

- tires. ASAE Paper 87-1627. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 1987.
- LYNE, P. W. L. & BURT, E. C. Real-time optimization of tractive efficiency. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 32(2): 431-35. March-April, 1989.
- LYNE, P. W. L.; BURT, E. C.; KEEN, J. F. & MEIRING, P. Tractor performance of cross-ply and radial-ply tires. Symposium Agricultural Engineering in South Africa. Vol. 15(1): 13-21. 1981.
- LYNE, P. W. L.; BURT, E. C. & MEIRING, P. Effect of tire and engine parameters on efficiency. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 27(2): 5-7, 11. 1984.
- MAZIERO, J. V. G.; CORRÊA, I. M.; YANAI, K. & MENEZES, J. F. de Equipamento para medição do consumo de combustível em experimentos agrícolas. Bragantia. Instituto Agronômico de Campinas. 1992.
- MENEZES, J. F. de & YANAI, K. Medidor de altura de garra de pneus de tratores. Campinas, Instituto Agronômico. Boletim Técnico, 127. 10p. 1989.
- MILAN, M. Avaliação do desempenho de 4 modelos de pneumáticos agrícolas em solo de textura média. Piracicaba (SP), 1986. 119p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP).
- MUELLER, J. P. & TREANOR, R. R. Performance of a four wheel drive tractor equipped with radial tires. ASAE Paper 85-1048. American Society of Agricultural Engineers. St.

- Joseph, MI. 1985.
- OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T & CAMARGO, M. N.
Classes gerais de solos do Brasil. FUNEP. 1992. 201 p.
- OZKAN, H. E. & YAHYA, A. Radial tires - Are they economical? ASAE Paper 86-1025. American Society Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 1986.
- RIMONDI, G.; TROLLI, C. & VIOLA, L. Field tests of a new large base agricultural driving tyre. International Conference on Soil Dynamics. Proceedings. Auburn. Vol. 4: 780-88. June, 1985.
- SOUZA, E. G. Desempenho de tratores agrícolas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XV, São Paulo, 1986. Anais, p. 135-56. 1987.
- _____ Simulação do desempenho de tratores em pista de concreto. Campinas (SP), 1989. 107 p. (Doutorado - Universidade Estadual de Campinas.
- TAYLOR, J. H. Comparative traction performance of R-1, R-3 and R-4 tractor tires. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 19(6):14-16. 1976.
- TAYLOR, J. H. & BURT, E. C. Track and tire performance in agricultural soils. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 18(1): 3-6. 1975.
- TAYLOR, J. H.; BURT, E. C. & BAILEY, A. C. Radial tire performance in firm and soft soils. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 19(6): 1062-64. Nov-dec, 1976.
- TAYLOR, J. H.; VANDEN BERG, G. E. & REED, I. F. Effect of

- diameter on performance of powered tractor wheels. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 10(6): 838-42. 1967
- THADEN, T. J. Operating characteristics of radial-ply tractor tires. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 5(2): 109-10. March-april, 1962.
- UPADYHAYA, S. K. Effect of tread design on bias ply tire traction characteristics. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 31(5): 1338-43. Sept.-Oct., 1988.
- VANDEN BERG, G. E. & REED, I. F. Tractive performance of radial-ply and conventional tractor tires. Transactions of the ASAE. St. Joseph, MI. 5(2): 126-29, 132. March-april, 1962.
- WITTIG, V. & ALCOCK, R. An empirical method of predicting traction. ASAE Paper no. 90-1570. American Society of Engineers. St. Joseph, MI. 1990.
- WOERMAN, G. R. & BASHFORD, L. L. How much does front wheel assist really help? Agricultural Engineering. St. Joseph, MI. 65(4): 31-5. April, 1984.
- WORTHINGTON, W. H. A discussion of performance characteristics of radial-ply tractor tires. Transaction of the ASAE. St. Joseph, MI. 5(2): 109-10. March-april, 1962.
- WULFSOHN, D. & UPADHYAYA, S. K. Characteristics of radial ply and bias ply tires. ASAE Paper no. 86-1057. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 1986.
- WULFSOHN, D.; UPADHYAYA, S. K. & CHANCELLOR, W. J. Tracti-

ve characteristics of radial ply and bias ply tyres in a California soil. Journal of Terramechanics. Great Britain. Vol. 25(2): 111-34. 1988.

YOUNG, R. N.; FATTAH, E. A. & SKIADAS, N. Vehicle traction mechanics. Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V. 307p. Developments in Agricultural Engineering (3). 1984

APÊNDICE 1

DEFINIÇÃO PARA PNEU RADIAL E DIAGONAL

Segundo a ABPA (1989) tem-se as seguintes definições para pneu radial e diagonal (Figura I).

- a) *pneu radial*: aquele cuja carcaça é constituída de uma ou mais lonas, cujos fios dispostos de talão a talão, são colocados a 90° , em relação à linha de centro da banda de rodagem, sendo esta carcaça estabelecida por uma cinta constituída de uma ou mais lonas inextensíveis.
- b) *pneu diagonal ou convencional*: aquele cuja carcaça é constituída de lonas cujos fios dispostos de talão a talão são colocados em ângulos cruzados, uma lona em relação a outra, menores que 90° .

PNEU DE CONSTRUÇÃO DIAGONAL

PNEU DE CONSTRUÇÃO RADIAL

Figura I - Vista de corte de um pneu radial e um diagonal
Fonte Farm Tire Handbook (1984)

APÊNDICE 2

CARACTERÍSTICAS, NOMENCLATURA E CONFIGURAÇÃO DA
BANDA DE RODAGEM DOS PNEUS AGRÍCOLAS

Tabela II.1 - Características da banda de rodagem dos
pneus. Dimensões aproximadas, em mm.

Dimensões (1)	Diagonal 1		Diagonal 2		Radial	
	18.4-34	14.9-24	18.4-34	14.9-24	18.4R34	14.9R24
	Código ⁽²⁾					
	D1		D2		R	
L	290	240	290	242	277	227
X	58	45	58	49	82	67
Y	134	125	134	123	154	126
C	245	225	245	217	255	205
h	39	39	39	39	55	52
w	38	30	38	32	44	36
e	44°	40°	44°	45°	$\theta_1=40^\circ$ $\theta_2=55^\circ$	$\theta_1=40^\circ$ $\theta_2=55^\circ$

(1) As letras estão identificadas nas Figuras II.2 e II.3 desse Apêndice.

(2) Denominação adotada para cada jogo de pneus utilizado nesse trabalho.

Figura II.1 - Configuração da banda de rodagem dos pneus

Figura II.2 - Nomenclatura e dimensões do pneu novo. Fonte: Adaptação de ASAE (1989) e ABPA (1989).

θ = ângulo da garra
 L = comprimento da garra
 X = vão livre da ponta da garra
 Y = distância entre garras
 C = passo da garra

h = altura da garra
 W = largura da garra

Figura II.3 - Diagrama da banda de rodagem do pneu. Fonte:
 Adaptação de ASAE (1989).

APÊNDICE 3

RESULTADOS OBTIDOS

TABELA III.1 - RESULTADOS OBTIDOS COM PNEU D1 NO LOCAL A1

=====									
FT	P	VA	CH	VD	PB	CT	CE		
media									
kgf	kN	%	r/min	L/h	km/h	cv	kW	g/cv.h	g/kW.h
=====									
474	4.65	3.63	2400	9.52	4.01	7.05	5.18	0.11	1133.60
673	6.60	5.19	2393	10.26	3.95	9.86	7.25	0.15	873.14
1165	11.43	8.63	2384	11.27	3.79	16.34	12.02	0.26	578.86
1437	14.10	9.62	2382	11.20	3.75	19.95	14.67	0.33	470.93
1832	17.97	11.90	2368	11.96	3.63	24.64	18.12	0.42	407.12
1991	19.53	12.98	2351	13.34	3.53	26.00	19.12	0.45	430.52
2252	22.09	16.33	2345	13.57	3.41	28.47	20.94	0.51	400.03
2342	22.98	23.04	2335	13.47	3.13	27.11	19.94	0.53	416.72
2410	23.64	19.10	2348	13.59	3.30	29.44	21.65	0.55	387.38
2686	26.35	24.45	2340	13.96	3.07	30.57	22.49	0.61	382.99
2915	28.60	37.10	2320	14.66	2.54	27.42	20.17	0.66	448.55
2947	28.91	41.72	2304	14.54	2.36	25.71	18.91	0.67	475.06
=====									

FT = Força de tracão
 P = Patinagem das rodas motrizes
 VA = Velocidade angular do motor
 CH = Consumo horário
 VD = Velocidade de deslocamento
 PB = Potência na barra
 CT = Coeficiente de tracão
 CE = Consumo específico

TABELA III.2 - RESULTADOS OBTIDOS COM PNEU D2 NO LOCAL A1

=====									
FT	P	VA	CH	VD	PB	CT	CE		
media									
kgf	kN	%	r/min	L/h	km/h	cv	kW	g/cv.h	g/kW.h
=====									
420	4.12	3.71	2409	9.25	4.00	6.22	4.57	0.09	1248.37
461	4.52	3.83	2404	9.27	3.98	6.80	5.00	0.10	1143.83
936	9.18	5.77	2390	10.21	3.89	13.47	9.91	0.21	635.79
1195	11.72	6.25	2397	10.20	3.86	17.10	12.57	0.27	500.18
1617	15.86	8.58	2379	11.22	3.75	22.43	16.50	0.36	419.47
1653	16.22	9.08	2378	11.64	3.72	22.79	16.76	0.37	428.47
1855	18.20	11.31	2371	11.82	3.62	24.88	18.30	0.41	398.60
2101	20.61	13.99	2356	12.86	3.49	27.18	19.99	0.47	397.36
2498	24.51	23.74	2333	13.57	3.06	28.30	20.81	0.56	402.82
2686	26.35	40.73	2331	14.31	2.37	23.61	17.37	0.60	508.39
2777	27.24	42.15	2321	14.47	2.32	23.82	17.52	0.62	509.54
2870	28.15	49.45	2317	15.04	2.03	21.58	15.87	0.64	584.60
2853	27.99	51.53	2317	15.41	1.95	20.60	15.15	0.64	627.52
3026	29.69	57.68	2316	14.79	1.69	18.93	13.92	0.67	655.64
=====									

FT = Força de tracao
 P = Patinagem das rodas motrizes
 VA = Velocidade angular do motor
 CH = Consumo horario
 VD = Velocidade de deslocamento
 PB = Potencia na barra
 CT = Coeficiente de tracao
 CE = Consumo especifico

TABELA III.3 - RESULTADOS OBTIDOS COM PNEU R NO LOCAL A1

FT	P		VR	CH	VD	PB		CT	CE		
	kgf	kN				%	media			km/h	cv
	523	5.13	1.67	2413	9.00	4.09	7.92	5.83	0.12	952.34	1294.83
	643	6.31	3.50	2410	9.14	4.06	9.68	7.12	0.14	791.45	1076.07
	650	6.38	2.81	2410	9.33	4.09	9.85	7.24	0.14	794.58	1080.33
	1033	10.13	4.03	2403	10.05	4.04	15.45	11.36	0.23	545.97	742.31
	1237	12.13	4.14	2398	10.39	4.01	18.38	13.52	0.27	474.83	645.59
	1356	13.30	5.41	2384	10.60	3.95	19.82	14.58	0.30	448.97	610.43
	1610	15.79	7.00	2366	11.80	3.85	22.96	16.89	0.36	431.53	586.71
	1832	17.97	11.49	2359	12.22	3.66	24.80	18.24	0.41	413.89	562.73
	2010	19.72	14.43	2352	12.52	3.52	26.18	19.25	0.45	401.49	545.88
	2173	21.32	13.65	2363	12.45	3.56	28.63	21.06	0.48	364.76	495.93
	22513	24.65	20.62	2343	13.22	3.25	30.25	22.25	0.56	366.91	498.86
	2721	26.69	25.85	2333	13.90	3.02	30.45	22.39	0.60	383.42	521.30
	2805	27.52	32.82	2334	14.45	2.71	28.17	20.72	0.62	430.77	585.68
	2805	27.52	32.23	2335	14.56	2.75	28.54	20.99	0.62	428.19	582.18
	2943	28.87	38.43	2331	14.50	2.51	27.33	20.10	0.65	445.16	605.25
	2575	25.26	21.07	2345	13.46	3.24	30.86	22.70	0.57	365.93	497.53

FT = Força de tracao VD = Velocidade de deslocamento
P = Patinagem das rodas motrizes PB = Potencia na barra
VR = Velocidade angular do motor CT = Coeficiente de tracao
CH = Consumo horario CE = Consumo especifico

TABELA III.4 - RESULTADOS OBTIDOS COM PNEU R NO LOCAL A2

FT	P		VA	CH	VD	PB		CT	CE		
	kgf	kN				%	r/min			L/h	km/h
	272	2.67	0.92	2421	9.44	4.22	4.25	3.12	0.06	1862.70	2532.56
	611	5.99	1.61	2414	9.41	4.18	9.47	6.96	0.14	832.96	1132.51
	752	7.38	1.91	2405	9.51	4.15	11.56	8.50	0.17	689.31	937.20
	960	9.42	3.05	2400	9.85	4.09	14.53	10.69	0.21	568.13	772.44
	1126	11.05	2.22	2394	10.16	4.12	17.16	12.62	0.25	495.98	674.34
	1324	12.99	3.24	2379	10.64	4.06	19.90	14.64	0.29	448.11	609.26
	1572	15.42	4.61	2373	11.26	3.99	23.21	17.07	0.35	406.73	552.99
	1786	17.52	4.83	2367	11.40	3.96	26.20	19.27	0.40	364.70	495.86
	2024	19.86	6.30	2357	12.04	3.89	29.14	21.43	0.45	346.28	470.81
	22344	22.99	7.91	2350	12.54	3.81	33.06	24.31	0.52	318.09	432.48
	2539	24.91	10.29	2341	13.20	3.70	34.77	25.57	0.56	318.15	432.57
	2731	26.79	18.67	2333	13.51	3.34	33.78	24.84	0.60	335.70	456.43
	2964	29.08	23.78	2321	14.14	3.12	34.20	25.16	0.66	346.80	471.52
	3219	31.58	32.02	2317	14.91	2.77	33.05	24.31	0.71	378.20	514.20
	3242	31.80	48.98	2312	15.18	2.08	24.92	18.33	0.72	510.65	694.30
	3194	31.33	36.28	2315	14.80	2.60	30.70	22.58	0.71	404.09	549.41

FT = Força de tracao VD = Velocidade de deslocamento
P = Patinagem das rodas motrizes PB = Potencia na barra
VA = Velocidade angular do motor CT = Coeficiente de tracao
CH = Consumo horario CE = Consumo especifico

TABELA III.5 - RESULTADOS OBTIDOS COM PNEU 02 NO LOCAL A2

=====									
FT	P	VA	CH	VD	PB		CT	CE	
media									
kgf	kN	%	r/min	L/h	km/h	cv	kW	g/cv.h	g/kW.h
=====									
267	2.62	1.41	2415	9.41	4.13	4.08	3.00	0.06	1937.51
391	3.84	1.25	2407	9.02	4.12	5.96	4.39	0.09	1272.00
596	5.85	1.48	2406	9.10	4.10	9.06	6.66	0.13	845.29
739	7.25	2.00	2401	9.36	4.08	11.16	8.21	0.16	704.82
995	9.76	2.78	2393	9.76	4.03	14.87	10.93	0.22	551.44
1418	13.91	4.46	2382	10.68	3.93	20.66	15.20	0.32	433.99
1694	16.62	5.78	2373	11.28	3.87	24.29	17.87	0.38	389.91
1897	18.61	6.68	2361	11.70	3.82	26.84	19.74	0.42	365.92
2308	22.64	14.61	2348	12.53	3.48	29.79	21.91	0.51	352.90
2552	25.04	20.84	2336	13.22	3.21	30.30	22.29	0.57	365.87
2819	27.65	18.27	2331	13.85	3.31	34.54	25.40	0.63	336.32
3041	29.83	26.62	2321	14.22	2.95	33.25	24.46	0.68	358.80
3052	29.94	47.61	2318	14.40	2.11	23.84	17.53	0.68	506.84
3163	31.03	54.93	2316	14.86	1.81	21.23	15.62	0.70	587.28
2911	28.56	34.42	2325	14.15	2.65	28.54	20.99	0.65	415.97
2814	27.61	17.20	2327	12.20	3.34	34.80	25.59	0.63	294.10
2610	25.60	13.44	2340	13.15	3.51	33.95	24.97	0.58	324.83
=====									

FT = Força de tracão

P = Patinagem das rodas motrizes

VA = Velocidade angular do motor

CH = Consumo horário

VD = Velocidade de deslocamento

PB = Potência na barra

CT = Coeficiente de tração

CE = Consumo específico

TABELA III.6 - RESULTADOS OBTIDOS COM PNEU D1 NO LOCAL A2

FT	P		VA	CH	VD	PB		CT	CE		
	kgf	kN				media	%			r/min	L/h
272	2.67	0.98	2418	9.12	4.19	4.22	3.10	0.06	1808.23	2458.51	
444	4.36	1.93	2410	9.19	4.14	6.81	5.01	0.10	1130.10	1536.51	
628	6.16	2.49	2409	9.42	4.12	9.59	7.05	0.14	823.41	1119.53	
1009	9.90	3.14	2389	10.02	4.06	15.17	11.16	0.23	553.96	753.17	
1191	11.68	4.30	2389	10.22	4.00	17.66	12.99	0.27	485.46	660.04	
1547	15.18	5.41	2376	10.87	3.94	22.60	16.62	0.35	404.00	549.29	
1615	15.84	6.83	2373	11.03	3.88	23.20	17.07	0.37	399.17	542.72	
2071	20.32	8.40	2360	11.93	3.79	29.05	21.36	0.47	344.97	469.03	
2135	20.94	9.38	2365	12.11	3.75	29.68	21.83	0.49	342.67	465.90	
2460	24.13	13.47	2344	12.93	3.56	32.44	23.86	0.56	334.64	454.99	
2696	26.45	15.79	2339	12.31	3.45	34.43	25.32	0.61	300.35	408.36	
2926	28.70	18.86	2334	14.09	3.31	35.92	26.42	0.67	329.49	447.98	
3117	30.58	32.92	2321	14.63	2.72	31.43	23.12	0.71	390.69	531.19	
3099	30.40	41.32	2318	14.75	2.38	27.31	20.09	0.70	453.20	616.18	
3003	29.46	23.85	2325	14.12	3.11	34.56	25.42	0.68	342.46	465.61	
2670	26.19	16.34	2341	13.06	3.43	33.91	24.94	0.61	322.89	439.01	
2561	25.12	15.74	2347	12.86	3.46	32.85	24.16	0.58	328.17	446.18	

FT = Força de tracao
P = Patinagem das rodas motrizes
VA = Velocidade angular do motor
CH = Consumo horario
VD = Velocidade de deslocamento
PB = Potencia na barra
CT = Coeficiente de tracao
CE = Consumo especifico

APÊNDICE 4

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO

Análise de variância para as equações da velocidade de deslocamento no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	4,4302	1	4,4302	8777,1
	Erro	0,0071	14	0,0005	
	Total	4,4373	15		
D1	Modelo	3,0160	1	3,0160	4314,9
	Erro	0,0070	10	0,0007	
	Total	3,0230	11		
D2	Modelo	9,5981	1	9,5981	14326
	Erro	0,0080	12	0,0007	
	Total	9,6061	13		

Análise de variância para as equações da velocidade de deslocamento no local A2

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	6,4301	1	6,4301	4982,8
	Erro	0,0181	14	0,0013	
	Total	6,4482	15		
D1	Modelo	4,1566	1	4,1566	5194,7
	Erro	0,0112	14	0,0008	
	Total	4,1678	15		
D2	Modelo	8,0506	1	8,0506	6789,6
	Erro	0,0166	14	0,0012	
	Total	8,0672	15		

Análise de variância para as equações da potência na barra
no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,5399	2	0,2700	85,66
	Erro	0,0410	13	0,0032	
	Total	0,5809	15		
D1	Modelo	0,4448	2	0,2224	207,92
	Erro	0,0096	9	0,0011	
	Total	0,4544	11		
D2	Modelo	0,5470	2	0,2735	302,86
	Erro	0,0080	12	0,0007	
	Total	0,5570	13		

Análise de variância para as equações da potência na barra
no local A2

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,9570	2	0,4785	263,95
	Erro	0,0236	13	0,0018	
	Total	0,9805	15		
D1	Modelo	1,1468	2	0,5734	275,62
	Erro	0,0270	13	0,0021	
	Total	1,1739	15		
D2	Modelo	1,1522	2	0,5761	118,84
	Erro	0,0630	13	0,0048	
	Total	1,2152	15		

Análise de variância para as equações do consumo horário
no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,0806	2	0,0403	222,47
	Erro	0,0024	13	0,0002	
	Total	0,0829	15		
D1	Modelo	0,0397	2	0,0199	84,06
	Erro	0,0021	9	0,0002	
	Total	0,0418	11		
D2	Modelo	0,0803	2	0,0401	525,07
	Erro	0,0008	11	0,0001	
	Total	0,0811	13		

Análise de variância para as equações do consumo horário
no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,0739	2	0,0371	315,22
	Erro	0,0014	12	0,0001	
	Total	0,0753	14		
D1	Modelo	0,0777	2	0,0388	213,15
	Erro	0,0024	13	0,0002	
	Total	0,0801	15		
D2	Modelo	0,0842	2	0,0421	326,89
	Erro	0,0015	12	0,0001	
	Total	0,0858	14		

Análise de variância para as equações do consumo específico
no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,2300	2	0,1150	55,67
	Erro	0,0269	13	0,0021	
	Total	0,2569	15		
D1	Modelo	0,2394	2	0,1197	164,35
	Erro	0,0066	9	0,0007	
	Total	0,2459	11		
D2	Modelo	0,3146	2	0,1573	134,60
	Erro	0,0129	11	0,0012	
	Total	0,3275	13		

Análise de variância para as equações do consumo específico
no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,5785	2	0,2893	182,42
	Erro	0,0206	13	0,0016	
	Total	0,5991	15		
D1	Modelo	0,7037	2	0,3518	273,73
	Erro	0,0167	13	0,0013	
	Total	0,7204	15		
D2	Modelo	0,6832	2	0,3416	64,21
	Erro	0,0692	13	0,0053	
	Total	0,0801	15		

Análise de variância para as equações da força de tração no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,9140	2	0,4570	150,67
	Erro	0,0394	13	0,0030	
	Total	0,9534	15		
D1	Modelo	0,7104	2	0,3552	395,32
	Erro	0,0081	9	0,0009	
	Total	0,7185	11		
D2	Modelo	1,0461	2	0,5230	286,77
	Erro	0,0201	11	0,0018	
	Total	1,0661	13		

Análise de variância para as equações da força de tração no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	1,4065	2	0,7032	313,62
	Erro	0,0292	13	0,0022	
	Total	1,4356	15		
D1	Modelo	1,5653	2	0,7827	484,22
	Erro	0,0210	13	0,0016	
	Total	1,5864	15		
D2	Modelo	1,7297	2	0,8648	158,06
	Erro	0,0711	13	0,0055	
	Total	1,8008	15		

Análise de variância para as equações do coeficiente
de tração no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	0,9108	2	0,4554	134,31
	Erro	0,0441	13	0,0034	
	Total	0,9549	15		
D1	Modelo	0,7036	2	0,3518	306,09
	Erro	0,0103	9	0,0011	
	Total	0,7140	11		
D2	Modelo	0,3815	2	0,1907	146,01
	Erro	0,0118	9	0,0013	
	Total	0,3932	13		

Análise de variância para as equações do coeficiente
de tração no local A1

Pneu	Fonte	SQ	GL	QM	F
R	Modelo	1,3933	2	0,6966	290,36
	Erro	0,0024	13	0,0024	
	Total	1,4245	15		
D1	Modelo	1,6051	2	0,8026	428,60
	Erro	0,0243	13	0,0019	
	Total	1,6294	15		
D2	Modelo	1,7443	2	0,8721	164,93
	Erro	0,0687	13	0,0053	
	Total	1,8130	15		