

AVALIAÇÃO DE UM CLINÔMETRO PARA A PREVENÇÃO DO TOMBAMENTO LATERAL DE TRATORES AGRÍCOLAS¹

Sergio P. de Souza² José P. Molin.³

RESUMO: Os inúmeros acidentes de trabalho na agricultura têm exigido esforços de diversos setores no sentido de torná-los menos freqüentes, devido aos problemas que acarretam à atividade agrícola e na intensidade em que ocorrem. Dentre os diversos tipos de acidentes na atividade agrícola, os de maior ocorrência são os que envolvem tratores agrícolas, em especial os tombamentos (frontal ou tombamento lateral). Como proposta de prevenção a esse tipo de acidente avaliou-se a possibilidade do emprego de um clinômetro, sensor que mede ângulo de inclinação, instalado em um trator agrícola. Inicialmente foram determinadas suas características estáticas tais como curva de calibração, sensibilidade estática, faixa de leitura, erros e histerese. Na seqüência, o clinômetro foi instalado em um trator, ensaiado e reproduziu os taludes a que foi exposto, mostrando boas perspectivas de uso para a prevenção de tombamento lateral de tratores na medida em que alerta o operador quanto à exposição ao risco.

PALAVRAS-CHAVE: inclinação, acidente, sensor.

TESTING A CLINOMETER FOR FARM TRACTOR OVERTURNING PREVENTION.

SUMMARY: Work accidents in agriculture have required efforts of many sectors to make them less frequent, due to problems they bring to the activity and in the intensity that they occur. Among the diverse types of accidents in agriculture the most frequent involves farm tractor, specially overturning by front or side. This work aimed to evaluate the use of a clinometer installed on a farm tractor as a sensor for overturning prevention. It was initially evaluated under static conditions obtaining its calibration curve, static sensibility, span, errors and hysteresis. In the sequence, the clinometer was tested being installed in a tractor and was able to detect the slopes, adequate on overturning prevention as it alerts the operator on risk exposures.

KEYWORDS: inclination, accident, instrument.

INTRODUÇÃO

A contínua necessidade de produzir alimentos para populações cada vez mais numerosas tem ampliado as fronteiras agrícolas e exigido a utilização de técnicas que resultem na otimização dos meios e recursos empregados na produção agrícola. Com isso a aplicação da maquinaria agrícola no processo produtivo tem se intensificado, expondo um número sempre maior de operadores ao risco de acidentes. Infelizmente no Brasil, praticamente não existem estatísticas sobre acidentes com tratores agrícolas. No entanto, sabe-se que países como Estados Unidos e alguns países da União Européia como a Espanha e a Alemanha, já há bastante tempo identificaram a grande participação dos tratores nos registros de acidentes na atividade agrícola.

Analisando os riscos de tombamento lateral de tratores agrícolas, operando transversalmente em declives, e também a qualidade do trabalho de aração realizado nessas condições, PALACIO (1975), considera que em áreas com declividade variando de 30% a 35%, ocorre uma redução da estabilidade

¹ Trabalho extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.

² Licenciado em Ciências Agrícolas, Prof. de Mecanização Agrícola do CANP/UFRJ, Pinheiral, RJ, (0XX32) 3721.6941, e-mail: sergiomuria@hotmai.com

³ Engenheiro Agrícola, Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Pesquisador do CNPQ.

do trator, predispondo-o ao tombamento lateral, uma vez que a soleira do sulco apresenta maior quantidade de torrões, apontando esse valor como sendo o limite técnico de declividade no qual o trator deva executar uma operação agrícola. Citando quatorze possíveis formas de acidentes com tratores agrícolas, BALASTREIRE (1979) aponta em primeiro lugar o tombamento lateral, destacando ainda a complexidade de se conhecer o limite de declividade para operações agrícolas, principalmente em condições dinâmicas, onde fatores imprevisíveis, como montículo de cupins e buracos no solo, concorrem de forma a potencializar ou mesmo desencadear o tombamento lateral dos tratores. Também menciona que o tempo decorrido para que se inicie um acidente é de 0,7 segundos e, uma vez iniciado, dificilmente esse processo é contido, sendo evidenciado que é mais fácil se prevenir a ocorrência de um acidente do que mudar o seu curso uma vez iniciado.

ROBIN (1987) e DIAS et al. (1992) abordando as principais causas de acidentes envolvendo tratores agrícolas consideram que, mesmo sendo um veículo que não trabalha em velocidades altas, o trator agrícola é perigoso, principalmente se operado de forma inadequada ou por operadores sem necessário treinamento e também que a estabilidade tem relação direta com sua massa, altura do centro de gravidade e largura do rodado, além da velocidade em que é operado. Analisando as diversas aplicações para os clinômetros nas mais diversas áreas, WERNECK (1996) cita operações de terraplanagem onde esse equipamento é instalado junto à lâmina de corte da motoniveladora, de modo que a mesma trabalhe numa inclinação determinada; também na indústria naval, onde um clinômetro determina o ângulo de adernamento de navios e de plataformas flutuantes de petróleo. METROLOGIA (1997), enumerando as possibilidades de se fazer medição de ângulos de peças na indústria, de forma a obter-se maior exatidão, caracteriza a mesa de seno e a régua de seno para esse fim, as quais são constituídas de uma barra de aço tratado por processos de têmpera e retificação, apresentando formato retangular e é empregada conjuntamente aos blocos padrão, que apresentam erro máximo de $\pm 8,00\mu\text{m}$, a 20°C . Assim, por simples triangulação, conhece-se o ângulo de inclinação, pois o comprimento da régua assume o valor da hipotenusa e o cateto oposto é representado pelo bloco padrão.

Este trabalho teve o objetivo de analisar o desempenho de um clinômetro para o monitoramento do ângulo de inclinação no qual o trator agrícola opera, com o objetivo de contribuir na prevenção de tombamentos laterais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi empregado um clinômetro marca RDS, modelo “Satloc Yield Monitor Hillside Angle” (Satloc, Inc®). É um sensor de pêndulo metálico, imerso em 100mL de silicone líquido, embutido dentro de uma caixa metálica. Seu funcionamento se baseia na variação da tensão elétrica do potenciômetro circular no pivô do pêndulo alimentado por corrente contínua de 12V. Dessa forma, qualquer movimento imposto ao pêndulo resultará na variação da resistência elétrica do potenciômetro, fornecendo um valor da tensão elétrica correspondente, que é o sinal de saída. Esse sensor compõe um conjunto comercial de instrumentos que é empregado em colhedoras automotrizes, para o monitoramento da colheita de grãos e do qual fazem parte outros sensores específicos.

Para a calibração estática do clinômetro empregou-se um paquímetro digital marca Mitutoyo com curso total de 150mm e uma mesa de seno marca Mitutoyo, juntamente com blocos padrão classe 0, marca Brown e Sharpe com 47 blocos e um multímetro digital marca Mitutoyo.

Na execução do ensaio do clinômetro sob condições estáticas fixou-se o equipamento na mesa de seno, de modo a se tomar leituras sucessivas a intervalos constantes de 2° , a partir de 0° até 22° , mais os valores ímpares 1° , 11° e 21° . O processo consistiu em realizar-se a leitura do ângulo assumido pela mesa de seno e adotado como método de referência, e o valor fornecido pelo clinômetro, exibido no visor do multímetro a ele conectado, e fornecido em volt. Assim, obteve-se valores de ângulos lidos como entrada e para os valores de saída, as leituras foram dadas em volts que posteriormente foram

convertidos em graus através da equação da reta respectiva, de inclinação à esquerda ou à direita. Obteve-se também o tempo de resposta do clinômetro, fixando-o a uma estrutura e registrando no coletor de dados os sinais das variações de inclinação que lhe foram impostas, movimentando-se lateralmente essa estrutura à qual foi fixado, obtendo-se assim valores da variação do sinal do clinômetro em relação ao tempo.

Os ensaios dinâmicos foram realizados em uma área do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP, em três taludes distintos, denominados em ordem decrescente de inclinação de “talude 1”, “talude 2” e “talude 3”, todos retos e apresentando a superfície coberta de grama, não verificou-se derrapagem lateral dos pneus nos taludes durante os ensaios. O talude 1 apresentou um ângulo de inclinação médio de 17° com amplitude de 13° a 20°. O talude 2 apresentou ângulo de inclinação médio de 9° e amplitude de 6° a 12°. O talude 3 apresentou ângulo de inclinação médio de 6° e amplitude de 3° a 8°.

Para a calibração dinâmica foi inicialmente efetuado levantamento topográfico da área de ensaio empregando um nível ótico, régua topográfica e uma trena com extensão de 20m, as leituras fornecidas nesse levantamento topográfico constituíram-se no método adotado como referência para a calibração dinâmica do clinômetro. O mesmo foi instalado em um trator marca Massey Ferguson, modelo 5285 4X2, sem cabine, com um arco metálico como estrutura de proteção contra capotagem. Completando a instrumentação do trator, empregou-se um coletor de dados marca Campbell Scientific, modelo CR10X.

O trator apresentava lastro dianteiro total de 224kg, nas rodas traseiras quatro lastros de 20kg cada um, totalizando 80kg, além de ter os pneus traseiros preenchidos com três quartos do seu volume com água. Apresentava bitola dianteira e traseira de 1.560mm, pressão de inflação dos pneus dianteiros e traseiros 0,13mPa (18 psi), tanque de combustível com 50% da capacidade de modo que o combustível influísse minimamente na estabilidade lateral do trator durante os ensaios, radiador, cárter e caixa-de-câmbio completos e o operador de 62kg, totalizando a massa em ordem de marcha, no início do ensaio, de 4.500kg. O trator foi operado na 3ª marcha do escalonamento (2-B-Reduzida), o que lhe conferiu uma velocidade de aproximadamente $0,56\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ com a rotação do motor de 1.200rpm. O clinômetro foi fixado próximo à barra de tração do trator, de modo que o eixo de apoio do pêndulo se posicionasse no seu plano vertical longitudinal e na posição mais baixa possível, conforme recomendação do fabricante. Utilizou-se uma rampa de madeira de 0,15m de altura, posicionada a 1m antes da linha inicial de cada faixa do percurso e a 1m após a linha final dessa faixa com o objetivo de produzir uma perturbação no trator de modo a gerar um sinal extremo nos registros. Eliminou-se, assim, as leituras anteriores e posteriores ao percurso delimitado pelas 21 linhas transversais.

Marcou-se em cada um dos três taludes, sobre o rastro definido pelos pneus, uma faixa de 20m de comprimento, com duas linhas paralelas definidas pelos pneus do trator. Com o auxílio do nível ótico, a cada metro, registrou-se duas leituras paralelas na régua topográfica, uma em cada linha demarcada pelos pneus traseiros do trator. Obteve-se, portanto, 21 linhas transversais, desde o marco zero, com duas leituras cada uma, dentro dos 20m de comprimento do talude. Os resultados dos levantamentos foram elaborados com o programa “Surfer” (Golden Software). O trator percorreu 10m antes do início de cada passada, de modo a estabilizar as oscilações a que era submetido e o coletor de dados fazia os registros a intervalos de 0,5s.

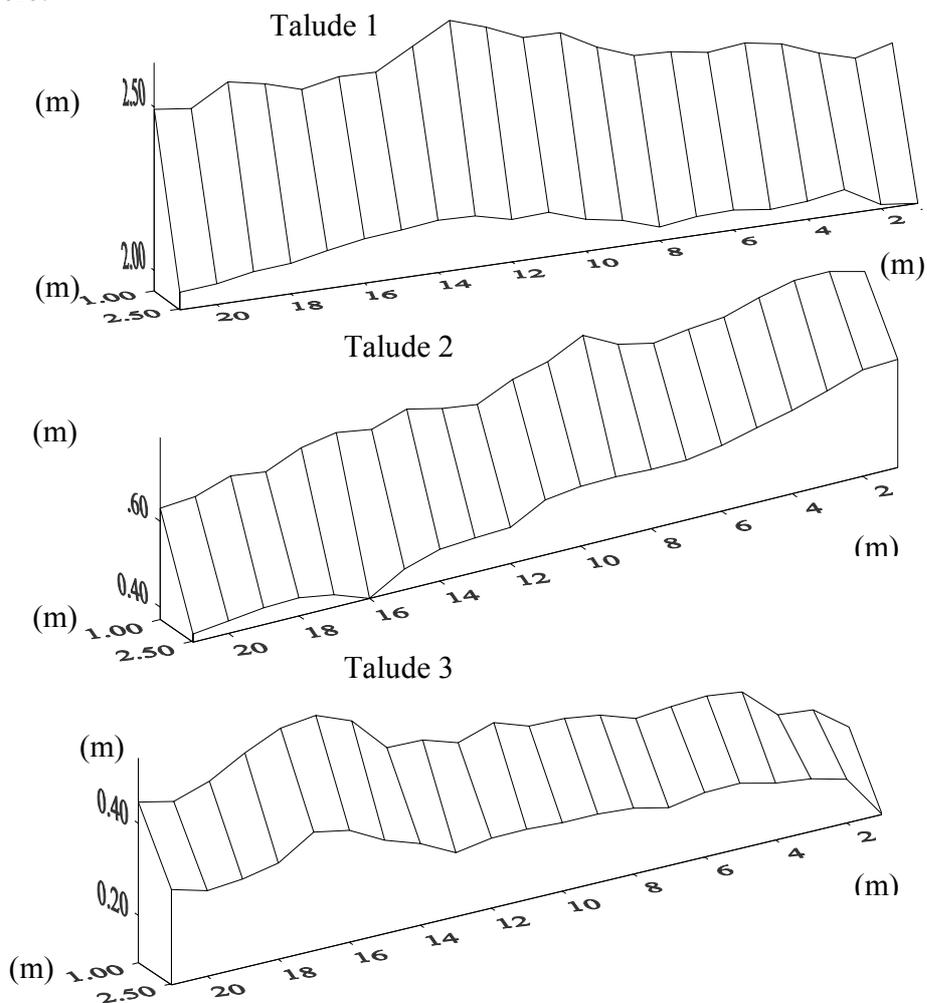
O experimento para comparar o método proposto com o método referência foi conduzido com um delineamento de blocos casualizados, com dois tratamentos e vinte e um blocos cada. Os tratamentos foram representados pelos métodos de medição (método proposto e o método referência) enquanto que os blocos foram representados por pontos distintos de medição. Os seis experimentos foram obtidos a partir de três taludes diferentes e em duas direções distintas resultando inclinação à esquerda e à direita. Foi feito ainda, para cada experimento, uma análise de correlação de Pearson, com intuito de verificar semelhanças entre os dois métodos de medição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da calibração estática do clinômetro obteve-se as equações da reta de calibração do clinômetro e desta obteve-se as características estáticas para a inclinação à esquerda com o erro sistemático de $-0,4V/^\circ$ e o erro ao acaso ou imprecisão de aproximadamente $\pm 1,08V/^\circ$. A sensibilidade estática foi de $-0,0692V/^\circ$. Na faixa de leitura do clinômetro, compreendida de 0° a 25° , não verificou-se histerese no instrumento. De modo análogo à inclinação à esquerda, também para a inclinação do clinômetro à direita, obteve-se as características estáticas cujo erro sistemático foi de $-0,1000V/^\circ$. O erro ao acaso ou imprecisão foi de $\pm 1,4100V/^\circ$ e a sensibilidade estática igual a $0,0701V/^\circ$. Na faixa de leitura de 0° a 25° também não verificou-se histerese. O tempo de resposta do instrumento obtido com emprego do coletor de dados foi de $0,65s$, abaixo portanto de $0,7s$ que é o tempo no qual se inicia um acidente, Balastreire (1979).

Na Figura 1 observa-se o perfil dos taludes 1, 2 e 3, seqüencialmente, obtidos com levantamento topográfico. Observa-se que há uma certa irregularidade, tanto longitudinal quanto transversal na superfície topográfica de todos os taludes.

FIGURA 1. Perfil dos taludes 1, 2 e 3 obtidos do levantamento topográfico com o nível óptico; as linhas longitudinais correspondem ao ponto de contato dos dois pneus traseiros com o solo.



A Figura 2 mostra o comportamento do clinômetro nas inclinações à direita e à esquerda em relação à referência, nos taludes 1, 2 e 3.

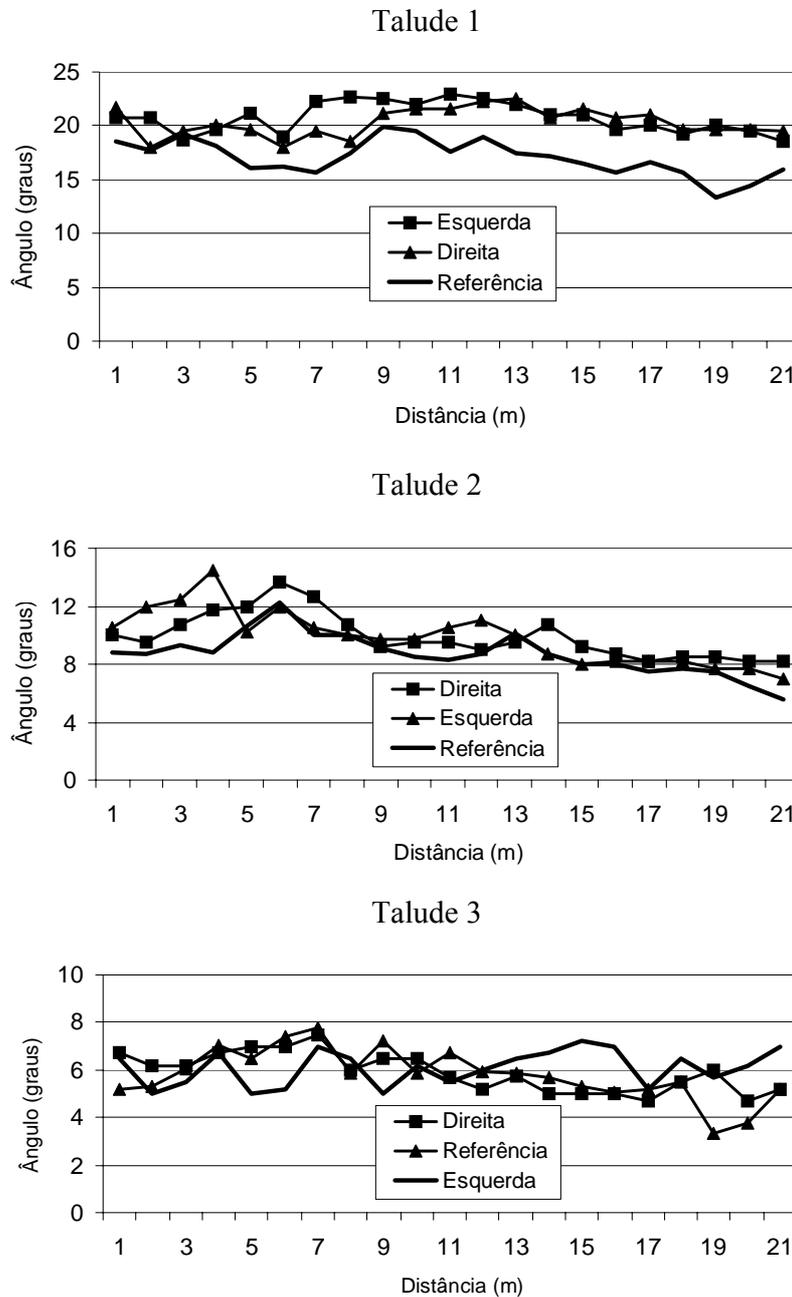


FIGURA 2. Leituras do ângulo de inclinação do talude 1, 2 e 3 à direita e à esquerda em relação à referência.

A Tabela 1 apresenta a síntese da análise de variância para cada tratamento com os valores do coeficiente de variação, teste T, correlação de Pearson e significância para os valores das leituras, em graus, fornecidas pelo clinômetro em relação ao levantamento topográfico adotado como referência.

TABELA 1. Síntese da análise da variância para os valores do coeficiente de variação, teste T, correlação e significância para as comparações entre ângulos da referência e aqueles dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	C.V. (%)	Correlação	T	Significâncias (%)
Talude 1 - esquerda	6,52	0,3613	1,6892	0,0538
Talude 1 - direita	6,39	0,4088	1,9523	0,0329
Talude 2 - esquerda	11,47	0,6196	3,4408	0,0014
Talude 2 - direita	6,53	0,8386	6,7105	0,0000
Talude 3 - esquerda	12,12	0,4262	2,0538	0,0270
Talude 3 - direita	10,38	0,6236	3,4767	0,0130

A Tabela 2 mostra a análise estatística descritiva para os valores, em porcentagem, da diferença entre as leituras da referência e as leituras dos seis tratamentos. O sinal negativo indica valores relativos às leituras que posicionaram-se abaixo da referência (Figura 2). O talude 1, na inclinação à direita, apresentou erro médio aproximado de 20% para maior de modo que o clinômetro mostrou-se mais preciso do que na inclinação à esquerda, que apresentou um erro médio aproximado de 23%. No talude 2 o clinômetro apresentou erro médio de aproximadamente 15% na inclinação à direita e de aproximadamente 14% para a inclinação à esquerda. Já, no talude 3, o clinômetro apresentou erro médio aproximado de 5% na inclinação à direita e de aproximadamente 10% para a inclinação à esquerda.

Observa-se que no primeiro tratamento, talude 1 com inclinação à esquerda, o clinômetro não apresentou semelhança estatisticamente significativa ao nível de 5% com a referência. Já, para a inclinação à direita, nesse talude, o clinômetro apresentou semelhança estatisticamente significativa com a referência. Tanto na inclinação à direita quanto à esquerda, o clinômetro apresentou no talude 1, as curvas similares à da referência, acompanhando suas tendências de elevação e de depressão, no entanto posicionou-se com valores das leituras acima da referência (Figura 2). O talude 1 apresentou um ângulo de inclinação médio de 17°, com amplitude de 13° a 20°. O talude 2 apresentou ângulo de inclinação médio de 9° e amplitude de 6° a 12°. Finalmente, o talude 3 resultou em ângulo de inclinação médio de 6° e amplitude de 3° a 8°.

Para os taludes 2 e 3, nas inclinações à direita e à esquerda, o clinômetro apresentou semelhança estatisticamente significativa com a referência. A disparidade entre a curva da inclinação à esquerda em relação à referência para o talude 3 foi a maior entre todos os tratamentos, pois foi a que mostrou-se com leituras mais distantes da referência ao longo da faixa de tráfego, sugerindo que esse desempenho insatisfatório se deva à associação de diversas fontes de erro.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos descritivos para as diferenças entre os tratamentos e a referência

Parâmetro	Talude					
	1		2		3	
	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
Erro Médio(%)	20,11	22,72	14,74	14,04	-4,48	-9,74
Máxima(%)	1,18	-2,97	-6,15	-3,75	-80,42	-71,40
Mínima(%)	48,38	50,64	47,62	64,64	15,23	30,55
Mediana(%)	22,17	22,01	13,23	6,85	1,57	-6,04
Desvio Padrão(%)	12,05	11,95	11,67	17,24	20,94	27,98
Coefficiente de Variação	0,60	0,53	0,79	1,23	-4,67	-2,87
Quartil Superior(%)	10,30	15,90	9,46	-0,13	-7,61	-25,26
Quartil Inferior(%)	26,33	29,67	14,82	26,02	6,29	8,79

A análise dos três taludes sugere que a inércia do pêndulo do clinômetro manifestou-se de forma intensa de modo que nos taludes 1 e 2, onde as inclinações foram maiores, as leituras, de modo geral também assumiram valores acima da referência. Já no talude 3, de inclinação mais suave, o pêndulo tendeu a posicionar-se mais em torno da referência. Porém, analisando-se o desempenho do equipamento, verifica-se que nenhuma fonte de erro parece ser responsável sozinha pela não coincidência entre as leituras fornecidas pelo clinômetro e a referência, apesar dos erros de leitura do clinômetro serem semelhantes nos seis tratamentos.

O modelo de clinômetro poderá tornar-se numa opção para operação de tratores agrícolas em taludes por fornecer instantaneamente o ângulo no qual o trator está submetido. Conforme SPENCER & GILFILLAN (1976) os modelos matemáticos constituem-se no recurso básico empregado atualmente para a prevenção de tombamento lateral de tratores agrícolas e são falhos principalmente para condições dinâmicas. Para DIAS et al. (1993) a grande limitação desses modelos é que não consideram, por exemplo, a rugosidade da superfície do solo ou a flexão lateral dos pneus. Um exemplo dessa limitação ocorre no modelo proposto por MIALHE (1980), no qual o autor propôs descrever um modelo matemático de predição do tombamento lateral de tratores considerando que se adote apenas 50% do valor obtido devido ao maior risco envolvido em condições dinâmicas, já que o modelo é proposto apenas para condições estáticas. Essa margem de segurança não tem sua origem justificada, denotando ser um valor arbitrado sem uma referência teórica para tal, podendo inclusive estar subestimado.

Assim, em função dos resultados obtidos, o clinômetro pode vir a ser uma alternativa para melhorar a segurança na operação de tratores agrícolas.

CONCLUSÕES

De acordo com as observações do trabalho pode-se concluir que:

- o clinômetro instalado em um trator reproduziu os taludes em que o veículo transitou com o grau de significância estabelecido de 5% em cinco dos seis tratamentos do ensaio dinâmico a que foi submetido;
- o equipamento demonstrou melhor desempenho nos taludes 1 e 2 que apresentaram maior ângulo de inclinação, entre 5° e 20°, sendo que as leituras mantiveram-se acima da referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALASTREIRE, L. A. *A prevenção de acidentes com tratores agrícolas*. São Paulo: Revista Brasileira De Saúde Ocupacional, 1979. n. 28, vol. 7p 62-5.
- DIAS, G. P; ESCOBEDO, J. F; DANTAS, A. A. A. *Simulação da estabilidade lateral de tratores agrícolas de pneus*. Santa Maria: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1.ed. v.3, 1992. p. 1821-1833.
- DIAS, G. P.; LIMA, J. S. ; FREITAS, M. C. *Constantes elásticas de pneus de tratores agrícolas*. Ilhéus: In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1.ed., v.3, 1993. p. 1847-1853.
- METROLOGIA. *Mecânica: Curso profissionalizante*. Rio De Janeiro: Globo, 1997. 240p.
- PALACIO, V. R. *Equipos movimiento tierras, labranza-cultivacion*. Madrid: Dilagro, 1975. 250p.
- ROBIN, P. *Segurança e ergonomia em maquinaria agrícola*. São Paulo: Fundacentro, 1987. 24p.
- SPENCER, H. B.; GILFILLAN, G. *An approach to the assessment of tractor stability on rough sloping ground*. In: Journal of Agriculture Engineering Research, Penicuik, Scotland 1976, n. 21. p.169-76.
- WERNECK, M. M. *Transdutores e Interfaces*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1996. 225 p.