

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO –USP**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” -**  
**ESALQ**

**Departamento de Engenharia Rural**

**COMPORTAMENTO DE UM SENSOR ÓPTICO**  
**ATIVO VARIANDO SUA VELOCIDADE**

Marcos Nascimbem Ferraz  
Orientador: José Paulo Molin

**PIRACICABA**  
**Estado de São Paulo– Brasil**

**Outubro 2007**

## COMPORTAMENTO DE UM SENSOR ÓPTICO ATIVO VARIANDO A VELOCIDADE

**RESUMO:** O teor de nitrogênio das culturas está fortemente associado à reflectância espectral, portanto é possível avaliar o teor desse nutriente nas plantas através de técnicas de sensoriamento remoto, podendo estimar a quantidade que a cultura necessita para evitar desperdícios. Utilizando um sensor ótico capaz de ler a reflectancia e determinar o NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada) é possível avaliar em tempo real a necessidade desse nutriente e automatizar a aplicação em taxa variada sem a necessidade de geração de mapas de fertilidade. Para essas aplicaões esses sensores passaria a ser montados em veículos aplicadores de fertilizantes e nesse caso conhecer a influência da velocidade de deslocamento é de grande importância. Este trabalho teve como propósito avaliar um desses sensores em diferentes velocidades visando à utilização do mesmo em uma máquina agrícola.

### INTRODUÇÃO

As culturas em geral respondem fortemente aos teores de nitrogênio disponíveis no solo, e a agricultura moderna está sobre pressão para evitar o aumento do nitrogênio aplicado nas culturas, pois quando o suprimento de N excede a necessidade da cultura, o excesso é perdido por escoamento superficial e lixiviação, podendo contaminar ecossistemas aquáticos e o lençol freático (Wood *et al.*, 1993). Essa perda de nitrogênio para o meio ambiente representa também uma perda econômica para os agricultores visto que o nitrogênio é o nutriente de obtenção mais cara. Entretanto, uma redução inapropriada no suprimento de nitrogênio poderia resultar em redução de produtividade e, por conseqüência, perda econômica. Por isso é preciso estimar a quantidade exata que a cultura necessita para evitar desperdícios.

O sensoriamento remoto é a ciência e a arte de observar um alvo sem ter contato físico com o mesmo. Baseando-se apenas na interpretação deste alvo com a radiação eletromagnética (Lillesand & Kiefer, 1995) gera informações que podem, dentre outros, estimar a quantidade de nitrogênio nas culturas, visto que as propriedades espectrais, reflectância e transmitância das folhas são afetadas pela deficiência de nitrogênio (Blackmer *et al.*, 1996), sendo a reflectância

espectral inversamente correlacionada com a quantidade de nitrogênio nas plantas. A maioria dos estudos indica que uma reflectância das folhas de aproximadamente 550 nm tem uma boa correlação com o conteúdo de nitrogênio das folhas.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) surgiu com o trabalho de Rouse *et al.* (1973), que encontraram uma relação entre medidas espectrais de duas bandas que melhor resolvia o problema das interferências do solo na resposta da vegetação. O NDVI está altamente correlacionado com o teor de nitrogênio nas plantas.

O método de sensoriamento remoto ativo torna possível avaliar em tempo real algumas características da cultura, como, por exemplo, diagnosticar níveis de nitrogênio, além de possibilitar a automação do sistema mecanizado de aplicação de fertilizantes e variar a quantidade de fertilizante aplicado sobre a cultura sem a necessidade de geração antecipada de mapas de fertilidade.

A proposta deste trabalho foi avaliar os resultados obtidos com o sensor trabalhando em diferentes velocidades, para verificar se há diferenças significativas nas leituras obtidas, visando à viabilidade de se utilizar este sensor em uma máquina agrícola.

## **EXPERIMENTO 1 – ENSAIO UTILIZANDO PARCELAS DE ALGODÃO COM DIFERENTES NÍVEIS DE DOSES DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

Avaliar o comportamento de um sensor ótico ativo em diferentes doses de nitrogênio aplicadas no algodão e a reflectância espectral da cultura, trabalhando com o sensor em diferentes velocidades de deslocamento e parado.

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

As leituras foram realizadas em uma área experimental instalada no Departamento de Produção Vegetal da USP/ESALQ, em Piracicaba (SP), cultivada com algodão da variedade Delta Opal, para avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio sobre reflectância do algodoeiro. O experimento teve um total de 20 parcelas resultante de quatro repetições e cinco tratamentos de doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg.ha<sup>-1</sup> de N). Cada parcela possuía 4 linhas de 5,0 m,

sendo descartada uma linha de bordadura de cada lado da parcela e 0,5 m nas outras duas extremidades. Desta forma, os dados foram coletados em 2 linhas de 4,0 m de comprimento.

O sensor utilizado para coleta de dados foi o GrenSeeker<sup>®</sup> (NTech Industry Inc., Ukiah, CA) que trata-se de um sensor óptico ativo, com dois LEDs que emitem a luz em dois comprimentos de onda, vermelho (660 nm) e infravermelho próximo (780 nm), e a luz refletida é captada pelo detector. A partir da refletância obtida nos dois comprimentos de onda, o sensor calcula automaticamente o índice de vegetação NDVI. A altura de trabalho do sensor, segundo recomendação do fabricante, é entre 0,81 e 0,12 m de distância entre o sensor e o alvo.

No sistema estático, foi avaliado, dentro de cada parcela 20 plantas (cinco em cada linha). Como as linhas são de 4 m, a cada 0,4 m foi feita uma leitura durante 15 segundos. A coleta em movimento foi feita caminhando com o sensor em todas as linhas de forma contínua e em três velocidades previamente calibradas (0,61m/s; 1,14m/s e 4m/s) (Figura 1).

Foi feita a estatística (Teste de Tukey ) para cada tratamento separadamente.



**Figura 1:** Coleta dos dados na área de algodão como parte do experimento 1.

## RESULTADOS

Os dados da análise estatística são apresentados na Tabela 1. Observa-se que para algumas doses de nitrogênio, houve diferença significativa entre as diferentes velocidades (200Kg há<sup>-1</sup>, 150Kg há<sup>-1</sup> e 50Kg há<sup>-1</sup>)

**Tabela 1:** relação das médias de NDVI nas 4 velocidades com 8 repetições.

200 kg.ha <sup>-1</sup> de N			
5% de tolerância		1% de tolerância	
velocidade	NDVI	velocidade	NDVI
V1	0.871772 <sup>a</sup>	V1	0.871772 <sup>a</sup>
V2	0.859756 <sup>ab</sup>	V2	0.859756 <sup>a</sup>
V3	0.859089 <sup>ab</sup>	V3	0.859089 <sup>a</sup>
V4	0.843734 <sup>b</sup>	V4	0.843734 <sup>a</sup>
150 kg.ha <sup>-1</sup> de N			
5% de tolerância		1% de tolerância	
velocidade	NDVI	velocidade	NDVI
V1	0.860367 <sup>a</sup>	V1	0.860367 <sup>a</sup>
V2	0.856004 <sup>ab</sup>	V2	0.856004 <sup>ab</sup>
V3	0.861049 <sup>a</sup>	V3	0.861049 <sup>a</sup>
V4	0.830285 <sup>b</sup>	V4	0.830285 <sup>b</sup>
100 kg.ha <sup>-1</sup> de N			
5% de tolerância		1% de tolerância	
velocidade	NDVI	velocidade	NDVI
V1	0.85482 <sup>a</sup>	V1	0.85482 <sup>a</sup>
V2	0.85670 <sup>a</sup>	V2	0.85670 <sup>a</sup>
V3	0.84355 <sup>a</sup>	V3	0.84355 <sup>a</sup>
V4	0.83194 <sup>a</sup>	V4	0.83194 <sup>a</sup>
50 kg.ha <sup>-1</sup> de N			
5% de tolerância		1% de tolerância	
velocidade	NDVI	velocidade	NDVI
V1	0.86165 <sup>a</sup>	V1	0.86165 <sup>a</sup>
V2	0.84846 <sup>a</sup>	V2	0.84846 <sup>ab</sup>
V3	0.84837 <sup>a</sup>	V3	0.84837 <sup>ab</sup>
V4	0.80759 <sup>b</sup>	V4	0.80759 <sup>b</sup>
0 kg.ha <sup>-1</sup> de N			
5% de tolerância		1% de tolerância	
velocidade	NDVI	velocidade	NDVI
V1	0.81980 <sup>a</sup>	V1	0.81980 <sup>a</sup>
V2	0.79959 <sup>a</sup>	V2	0.79959 <sup>a</sup>
V3	0.78983 <sup>a</sup>	V3	0.78983 <sup>a</sup>
V4	0.76312 <sup>a</sup>	V4	0.76312 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup>: médias com a mesma letra não são diferentes estatisticamente pelo Teste de Tukey.

Legenda: V1= modo estático; V2= 0,61m/s; V3= 1,14m/s; V4= 4m/s.

Os resultados podem ser visualizados na figura 2, que apresenta os gráficos de cada tratamento nitrogenado separadamente, onde cada linha representa uma velocidade diferente.

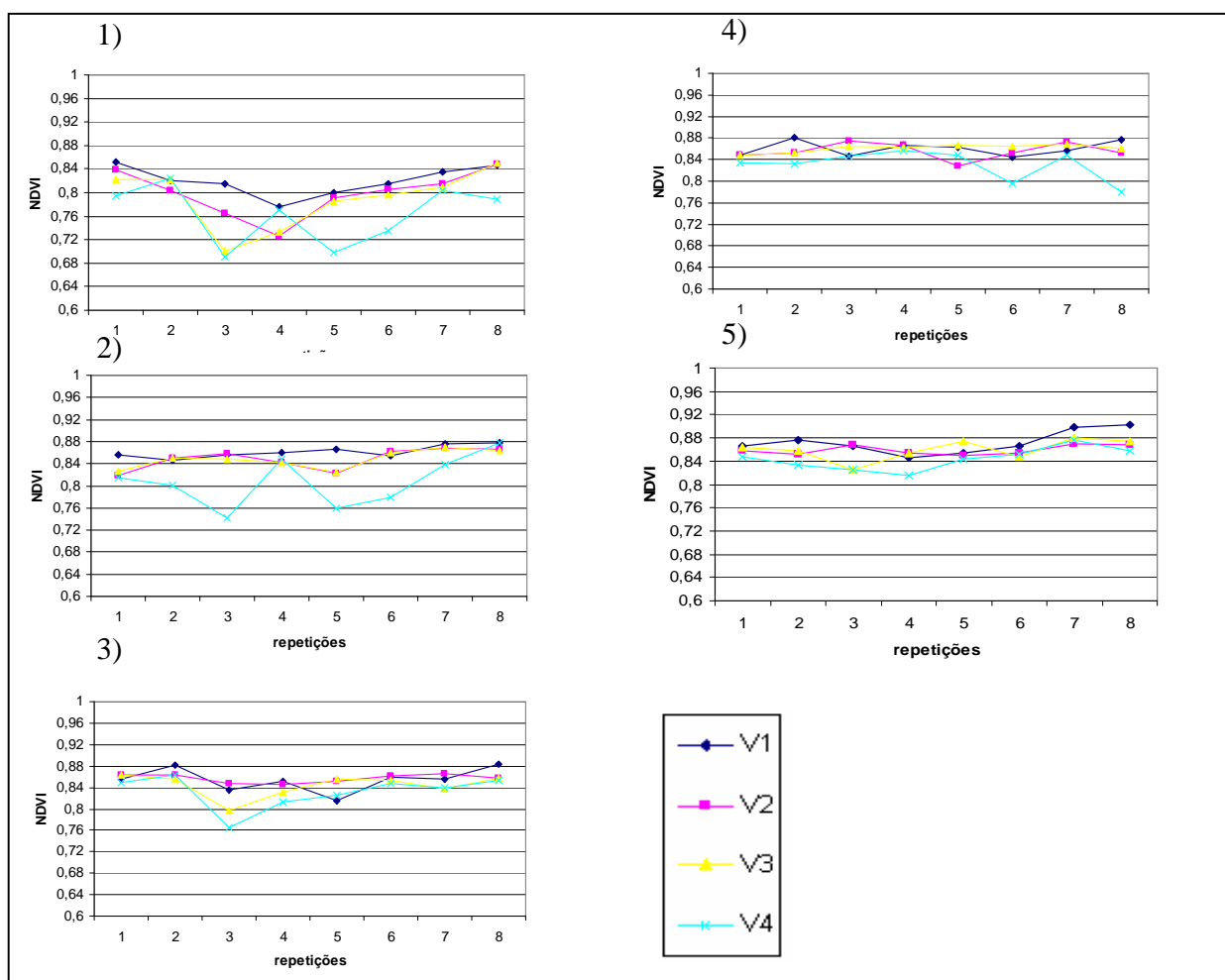


Figura 2: Gráficos representando a variação da velocidade para cada dose nitrogenada ; 1) 0 Kg há<sup>-1</sup> 2) 50 Kg há<sup>-1</sup> 3) 100 Kg há<sup>-1</sup> 4) 150 Kg há<sup>-1</sup> 5) 200 Kg há<sup>-1</sup>

Observa-se uma grande variação na leitura do aparelho mesmo em uma mesma velocidade, demonstrando a heterogeneidade das parcelas, tanto por razões fisiológicas do algodão, quanto por falta de estabilidade na operação de leitura do NDVI.

## **CONCLUSÃO**

Os resultados são diferentes para cada tratamento de adubação utilizado no experimento, por ter sido efetuado no campo, o experimento pode ter sofrido outras influências como variação na altura do sensor, heterogeneidade das parcelas, e até erros de alvo. Como o sensor foi carregado manualmente, apresentou pouca estabilidade, podendo ocorrer movimentação em altas velocidades.

## **EXPERIMENTO 2 – ENSAIO UTILIZANDO ALVOS MORTOS E VELOCIDADE CONTROLADA COM TRATOR.**

### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

O objetivo deste experimento foi avaliar a reflectância de três tipos de superfície com o sensor ótico montado sobre um trator submetido a cinco velocidades de deslocamento, de modo a avaliar se há diferença significativa das leituras do sensor nas diversas velocidades sobre os diferentes alvos.

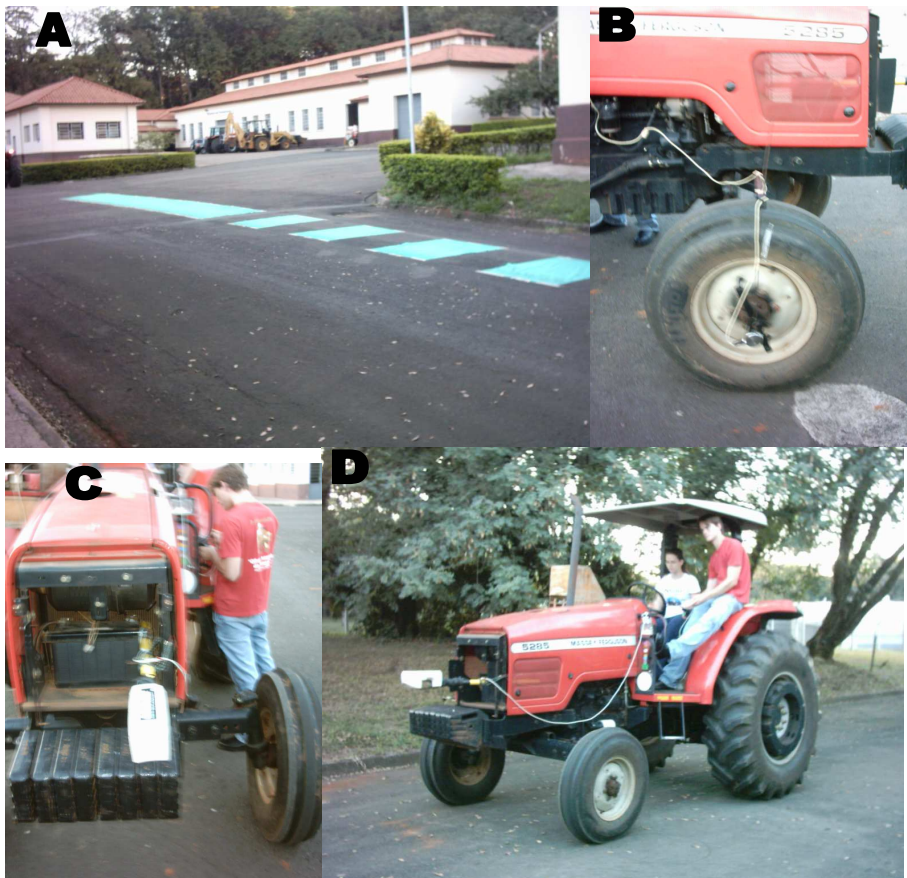
### **MATERIAIS E MÉTODOS**

As leituras foram realizadas em uma área do departamento de Engenharia Rural da USP/ESALQ, em Piracicaba (SP). A área foi dividida em três parcelas de 10 metros de comprimento por 0,75 metros de largura. Na primeira parcela, utilizou-se o próprio asfalto da rua para servir de alvo; na segunda parcela o alvo utilizado foi um pano TNT\* de cor verde e na terceira parcela o pano TNT\* verde e o asfalto foram alternados (um metro de pano, um metro de asfalto e assim sucessivamente) com a finalidade de forçar variações na taxa de NDVI.

Foi utilizado o mesmo sensor do experimento anterior, porém, desta vez ele foi acoplado em um trator Massey Ferguson 4x2 5285, a 1 metro de altura do chão (alvo), para garantir o máximo de estabilidade do equipamento.

Na medição de velocidade foi utilizado um sensor de giro na roda e os dados de velocidade foram confirmados pelas leituras do GrenSeeker® (NTech Industry Inc., Ukiah, CA) – que produz 10 leituras por segundo.

Foram feitas as medições passando com o sensor a seis velocidades diferentes ( $0,433 \text{ ms}^{-1}$ ;  $0,785 \text{ ms}^{-1}$ ;  $1,552 \text{ ms}^{-1}$ ;  $2,286 \text{ ms}^{-1}$ ;  $3,535 \text{ ms}^{-1}$ ;  $6,216 \text{ ms}^{-1}$ ) por todas as parcelas realizando 3 repetições por velocidade. Os dados foram então separados por alvo e foi feito teste de Tukey para cada alvo e para todo o percurso, que engloba todas as parcelas em uma única leitura. Obteve-se assim quatro superfícies (alternado TNT e asfalto, somente TNT, somente asfalto e todo o percurso) que foram analisadas separadamente.



**Figura 3:** A- Parcelas; B- Sensor de giro instalado na roda; C e D – GrenSeeker<sup>®</sup> acoplado ao trator.

## RESULTADOS

Em nenhuma das superfícies houve diferença significativa na leitura do NDVI nas diferentes velocidades, como pode ser observado na Tabela 2.



**Tabela 2:** relação das médias de NDVI nas 6 velocidades com 3 repetições.

<b>SUPERFÍCIE 1 - alternado</b>			
<b>5% de tolerância</b>		<b>1% de tolerância</b>	
<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>	<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>
V1	0.37335 <sup>a</sup>	V1	0.37335 <sup>a</sup>
V2	0.37008 <sup>a</sup>	V2	0.37008 <sup>a</sup>
V3	0.36849 <sup>a</sup>	V3	0.36849 <sup>a</sup>
V4	0.36983 <sup>a</sup>	V4	0.36983 <sup>a</sup>
V5	0.37759 <sup>a</sup>	V5	0.37759 <sup>a</sup>
V6	0.36838 <sup>a</sup>	V6	0.36838 <sup>a</sup>

<b>SUPERFÍCIE 2 – TNT verde</b>			
<b>5% de tolerância</b>		<b>1% de tolerância</b>	
<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>	<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>
V1	0.57693 <sup>a</sup>	V1	0.57693 <sup>a</sup>
V2	0.57584 <sup>a</sup>	V2	0.57584 <sup>a</sup>
V3	0.56825 <sup>a</sup>	V3	0.56825 <sup>a</sup>
V4	0.57531 <sup>a</sup>	V4	0.57531 <sup>a</sup>
V5	0.58318 <sup>a</sup>	V5	0.58318 <sup>a</sup>
V6	0.58002 <sup>a</sup>	V6	0.58002 <sup>a</sup>

<b>SUPERFÍCIE 3 – asfalto</b>			
<b>5% de tolerância</b>		<b>1% de tolerância</b>	
<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>	<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>
V1	0.109413 <sup>a</sup>	V1	0.109413 <sup>a</sup>
V2	0.114488 <sup>a</sup>	V2	0.114488 <sup>a</sup>
V3	0.112135 <sup>a</sup>	V3	0.112135 <sup>a</sup>
V4	0.111487 <sup>a</sup>	V4	0.111487 <sup>a</sup>
V5	0.111289 <sup>a</sup>	V5	0.111289 <sup>a</sup>
V6	0.109514 <sup>a</sup>	V6	0.109514 <sup>a</sup>

<b>SUPERFÍCIE – todo percurso</b>			
<b>5% de tolerância</b>		<b>1% de tolerância</b>	
<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>	<b>velocidade</b>	<b>NDVI</b>
V1	0.341070 <sup>a</sup>	V1	0.341070 <sup>a</sup>
V2	0.343489 <sup>a</sup>	V2	0.343489 <sup>a</sup>
V3	0.332554 <sup>a</sup>	V3	0.332554 <sup>a</sup>
V4	0.344730 <sup>a</sup>	V4	0.344730 <sup>a</sup>
V5	0.354230 <sup>a</sup>	V5	0.354230 <sup>a</sup>
V6	0.354036 <sup>a</sup>	V6	0.354036 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup>: médias com a mesma letra não são diferentes estatisticamente pelo Teste de Tukey.

Legenda: V1= 0,433 ms<sup>-1</sup>; V2= 0,785 ms<sup>-1</sup>; V3= 1,552 ms<sup>-1</sup>; V4= 2,286 ms<sup>-1</sup>; V5= 3,535 ms<sup>-1</sup>; V6= 6,216 ms<sup>-1</sup>

A figura 4 apresenta os gráficos de cada superfície utilizada, onde o eixo X corresponde as diferentes velocidades utilizadas, e o eixo Y á média do NDVI, obtida nas três repetições.

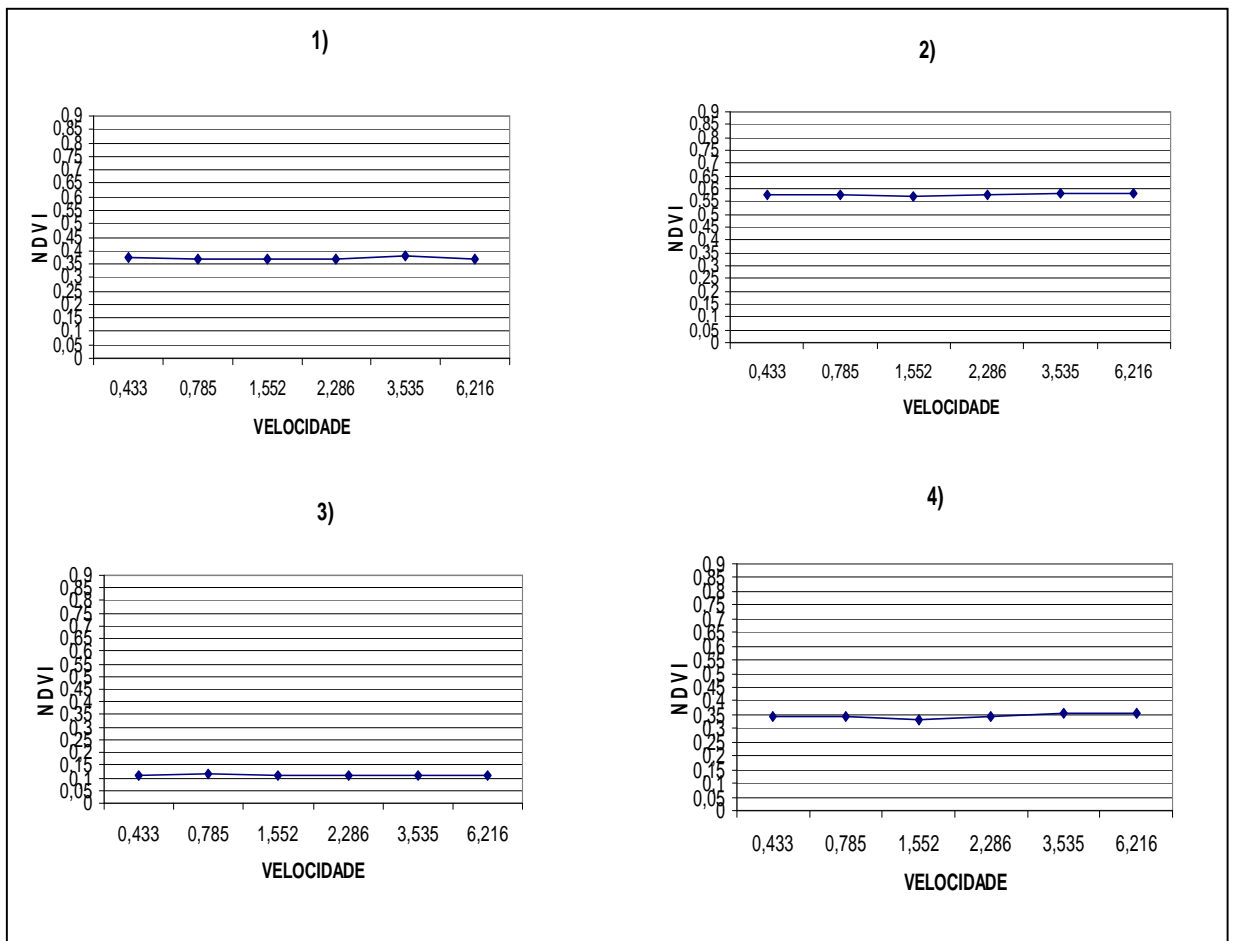


Figura 4: Gráficos representando a variação do NDVI com a velocidade para cada superfície, 1) alternado TNT e asfalto, 2) somente TNT, 3) somente asfalto e 4) todo o percurso.

Neste experimento, além das parcelas homogêneas, houve um maior controle das velocidades e da estabilidade do equipamento. O sensor não apresentou diferença de leitura mesmo a velocidades altas. Pode-se dizer que as diferenças obtidas no experimento foram devido a erros de estabilidade, porém a nível de campo, a estabilidade ideal pode ser difícil de ser alcançada.

## CONCLUSÃO

O aparelho apresentou bom desempenho em um experimento mais controlado, mostrando que mesmo a velocidades elevadas para operações agrícolas comuns é capaz de medir detalhadamente o NDVI da cultura obtendo médias semelhantes às obtidas em velocidades menores.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O experimento 2 apresentou resultados mais confiáveis devido ao nível de controle das velocidades, estabilidade do equipamento e também por ter sido efetuado com alvos mortos. No experimento 1 os resultados podem ter sido influenciados pela falta de estabilidade do sensor sobre as plantas, bem como razões fisiológicas do algodão e devido a um alvo não regular, mostrando que cuidados devem ser tomados quanto a estes padrões . O equipamento demonstrou ser confiável para o uso em veículos mesmo em velocidades elevadas, mas novas investigações devem ser conduzidas, especialmente em alvos reais e em condições com melhor controle experimental.

## **BIBLIOGRAFIA**

READ, J.J; WHALEY, E.L; TARPLEY, L.; REDDY, R. Evaluation of a hand-held radiometer for field determination of nitrogen status in cotton. American Society of Agronomy Special Publication Number 66.p. 177-195, 2003.

MONTOMIYA A. V. A.; MOLIN J. P.; DIAS C. T. S. LIMA V. P. T.; CHIAVEGATO E. J.; FRASSON F. R.; Sensoriamento remoto na detecção da deficiência de nitrogênio em algodoeiro; UEMS, Cassilândia – MS e ESALQ/USP, Piracicaba – SP.

LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. Remote Sensing and Image Interpretation. 3ª ed., John Wiley & Sons, Inc, New York, 1995.

WOOD, C.W.; REEVES, D.W.; HIMELRICK, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: a review. In: Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand, v.23, p.1–9, 1993.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E.; WALTER-SHEA, E.A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. Agronomy Journal, v.88, p.1–5, 1996.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., Proceedings. NASA, Goddard Space Flight Center, 1973. v.1, p.09-317, (NASA SP-351), 1973.