

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

**COMPORTAMENTO DE UM SENSOR ÓTICO ATIVO VARIANDO A
FREQUÊNCIA DE COLETA DE DADOS E A DISTÂNCIA ENTRE FILEIRAS
DA CULTURA**

**DOCENTE: Prof. Dr. José Paulo Molin
BOLSISTA: Lucas Cortinove**

**PIRACICABA
Estado de São Paulo, Brasil
Agosto – 2011**

COMPORTAMENTO DE UM SENSOR ÓTICO ATIVO VARIANDO A FREQUÊNCIA DE COLETA DE DADOS E A DISTÂNCIA ENTRE FILEIRAS DA CULTURA

RESUMO

Uma das ferramentas de agricultura de precisão é o sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto consiste em analisar um alvo sem fazer contato com o alvo. A avaliação pode ser feita por sensores orbitais (satélites) ou por sensores terrestres. Um desses sensores terrestre é o ACS- 210 Crop Circle, (*Holland Scientific, Inc. Lincoln, NE*). As leituras feitas foram em todas as fileiras de milho e na distância de 1 metro na cultura do trigo e a frequência de coleta de dados utilizada foi de 5 Hz e diminuídas gradativamente até 0,1 Hz. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes combinações entre distância de leituras e frequências de coleta dos dados de NDVI nas culturas de trigo e milho. As comparações foram feitas pelo coeficiente de correlação de Pearson. A correlação forte foi apenas para espaçamento de 1m em trigo e frequência de 1 Hz. No milho as correlações fortes foram para leituras com todas as fileiras nas frequências de 1 Hz e 0,5 Hz.

1. Introdução

A agricultura de precisão pode ser definida como um sistema de gerenciamento que leva em consideração a variabilidade espacial que existe dentro de uma área de produção, independente de seu tamanho e trata de maneira localizada essa variabilidade. Há uma evidência bem comprovada que tanto a qualidade quanto a produtividade são espacialmente variáveis no campo e sistemas estão sendo desenvolvidos para explorar essa variação e aumentar o rendimento das culturas (STAFFORD, 1999).

Segundo Molin (2001), a variabilidade espacial pode ser investigada dentre outras formas, pelo uso do sensoriamento remoto, que fornece grande número de dados, sendo quase impossível de se manipular sem uma ferramenta de computação. Para isso existem os Sistemas de Informação Geográfica – SIG ou GIS (Geographic Information System), que permitem a armazenagem, processamento, análise e sintetização de todos os dados relativos à variabilidade espacial. Na medida em que os dados são coletados, cada parâmetro pode ser tratado como uma camada separada de informação. O SIG oferece a possibilidade de se executar operações aritméticas e lógicas por meio da sobreposição da informação contida em diferentes camadas (MOLIN, 1997).

Os sensores utilizados pelo sensoriamento remoto são dispositivos capazes de detectar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, gráfica ou de tabela. Os sistemas sensores são basicamente formados por uma parte óptica (coletor), constituída por lentes e espelhos, que tem o objetivo de captar e direcionar a energia proveniente dos alvos para os detectores. Quando o sistema sensor emite radiação e, após ter interagido com o alvo, capta a parte que voltou, o sistema é denominado ativo, pois possui sua própria fonte de radiação. Neste caso, o sensor pode operar durante o dia ou à noite (MOREIRA, 2005).

Sabe-se que adubos nitrogenados quando utilizados de forma adequada com os demais nutrientes pode auxiliar no aumento do desenvolvimento da cultura, porém quando utilizado em excesso pode acarretar na poluição de lençóis freáticos e outros ecossistemas aquáticos, pois esse excesso de N é lixiviado. Portanto, para suprir essas dificuldades causadas pelo manejo inadequado do nitrogênio no solo, buscam-se alternativas na agricultura de precisão, pois se sabe que com a aplicação de adubos

nitrogenados a taxas variáveis pode-se empregar a quantidade adequada de nitrogênio que a cultura necessita, aumentando a produtividade, otimizando a rentabilidade e protegendo o meio ambiente (HABOUDANE et. al., 2002).

A utilização do NDVI como índice de vegetação indicador para recomendação de adubação nitrogenada a partir do teor de clorofila está sendo usada em várias culturas. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) é uma razão da diferença pela soma entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, conforme a equação 1 (ROUSE et al., 1973). O NDVI permite uma análise rápida e detalhada de como o nitrogênio está na planta (nutrição e absorção). Dessa forma o produtor pode tomar uma atitude de corrigir se houver a deficiência de nitrogênio na cultura.

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V}) \quad (1)$$

em que:

IVP = refletância no infravermelho próximo

V = refletância no vermelho

Povh et al. (2008) fizeram estudos sobre o uso do NDVI como índice de vegetação indicador para a recomendação de adubação nitrogenada a taxa variável. O estudo foi realizado nas culturas do milho, trigo, triticale e cevada, utilizando um sensor de NDVI Green Seeker®. O NDVI gerado pelo sensor possui grande relação com as quatro variáveis na cultura do trigo (nitrogênio aplicado, nitrogênio foliar, matéria seca e produtividade), possuindo grande potencial para o manejo do nitrogênio na cultura do trigo. Na cultura do milho o NDVI não foi capaz de identificar as diferenças entre os tratamentos com doses de N devido ao maior acúmulo de biomassa, sendo que possivelmente outros índices de vegetação ou combinações de ondas tenham uma relação mais linear com a quantidade de biomassa.

As leituras com esses sensores podem possuir uma grande frequência de coleta de pontos de NDVI e pode ser feita em todas as fileiras da cultura. Com esse tipo de avaliação será gerado um número muito grande de dados e uma informação bem detalhada da cultura implantada. Contudo, se diminuir a frequência de coleta de pontos e aumentar a distância entre fileiras e o resultado final for equivalente não há a necessidade de fazer a leitura mais detalhada possível, o que acarreta arquivos maiores e custo com mais sensores ou maior número de passadas.

Assim, este trabalho tem por objetivo encontrar a menor frequência de coleta de pontos de NDVI obtidos com um sensor ótico ativo comercial nas fileiras da cultura e a maior distância entre fileiras para se fazer uma nova leitura para então estabelecer frequência de coleta e afastamento adequados entre sensores.

2. Materiais e Métodos

As medidas foram feitas com trigo (*Triticum spp.*) e com milho (*Zea mays*) e analisou-se a variabilidade espacial do índice NDVI.

O sensor ótico ativo utilizado foi o ACS- 210 Crop Circle, (*Holland Scientific, Inc.* Lincoln, NE). É um sensor portátil que trabalha com dois comprimentos de onda, um na região do amarelo (590 nm) e outro no infravermelho próximo (880 nm) e possui uma frequência máxima de coleta de pontos de 10 Hz. Segundo o fabricante a altura que o sensor deve ficar do alvo é de 0,25 até 2,00 m. Ao longo das coletas adotou-se a altura de 1,00 m do dossel das plantas visando manter um padrão.

A coleta dos dados de trigo foi realizada em Apucarana, PR, nos dias de 05 e 06 de junho de 2010 (Figura 1). A variedade de trigo avaliada foi a BRS Pardela

utilizando-se uma densidade de semeadura de 330 plantas m^{-2} . A distância entre fileiras foi de 0,17 m. No momento da leitura, as plantas de trigo estavam com 38 DAS (dias após a semeadura). Um único sensor foi acoplado à barra de pulverização de um pulverizador da propriedade para se fazer as leituras. O espaçamento entre leituras foi de 1 m, com frequência de coleta de dados de 5 Hz. A velocidade aproximada das leituras foi de $2,22 m.s^{-1}$.



Figura 1 Sensor acoplado à barra de pulverização (A), Pulverizador fazendo leitura na lavoura de trigo (B)

A leitura da área de milho foi realizada em Piracicaba, SP, no dia 15 de janeiro de 2011 (Figura 2). O híbrido avaliado foi o 2B710Hx, com uma densidade de semeadura de 5 plantas m^{-2} . A distância entre fileiras foi de 0,85 m. A semeadura foi realizada em 8 de dezembro de 2010 e no momento da leitura, as plantas estavam no estágio vegetativo V6. Segundo Povh et al. (2010), o estágio V6 é o ideal para se realizar a leitura do NDVI, sendo que neste ponto a influência de população é bem reduzida e diferentes doses de nitrogênio melhor diferenciadas. Foi feito um suporte acoplado numa adubadora a lança e nesse caso instalou-se quatro sensores. As leituras foram realizadas em todas as fileiras de milho, com a frequência de 5 Hz. A velocidade utilizada para a coleta de dados foi de aproximadamente $1,6 m s^{-1}$.

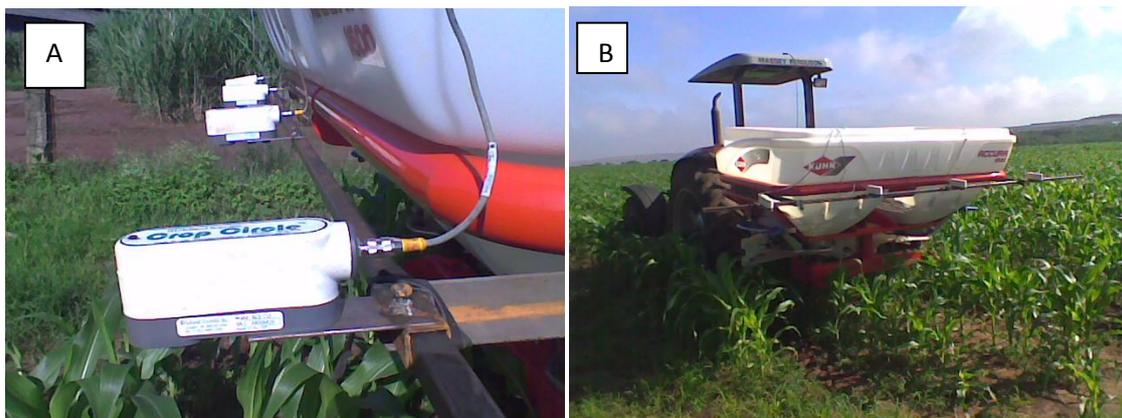


Figura 2 Sensores acoplados na adubadora (A), Leitura do NDVI na lavoura de milho (B)

Ambas as áreas tiveram os contornos registrados pelo receptor de GPS Legend H eTrex (Garmin®, Olathe, KS) resultando em 3,3 ha de lavoura de trigo e 5,4 ha de lavoura de milho.

3. Resultados Parciais e Discussão

Os dados coletados foram processados em uma planilha eletrônica (Microsoft Excel 2007®) e inicialmente apresentavam alguns erros de amostragem.

A Figura 3 apresenta o mapa da lavoura de trigo com os pontos de NDVI estratificados em cinco classes.

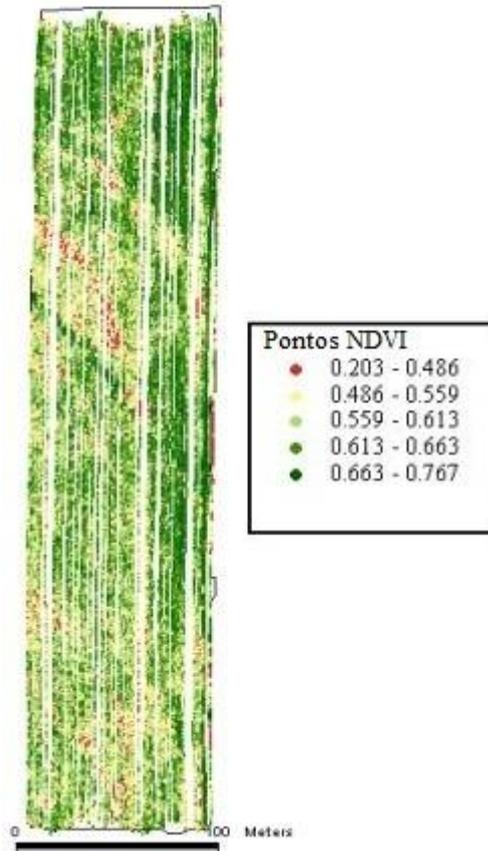


Figura 3 Área de trigo com os pontos de NDVI estratificados em cinco classes

Nessa lavoura foram eliminadas oito fileiras de leituras, pois o sensor passou sobre o rastro do trator, onde há uma área de amassamento e não é representativo para o índice de vegetação (Figura 4). Com isso, eliminou-se 7446 pontos dos 77328 originais (Figura 5).



Figura 4 Rastro do trator com o amassamento realizado pelo pneu

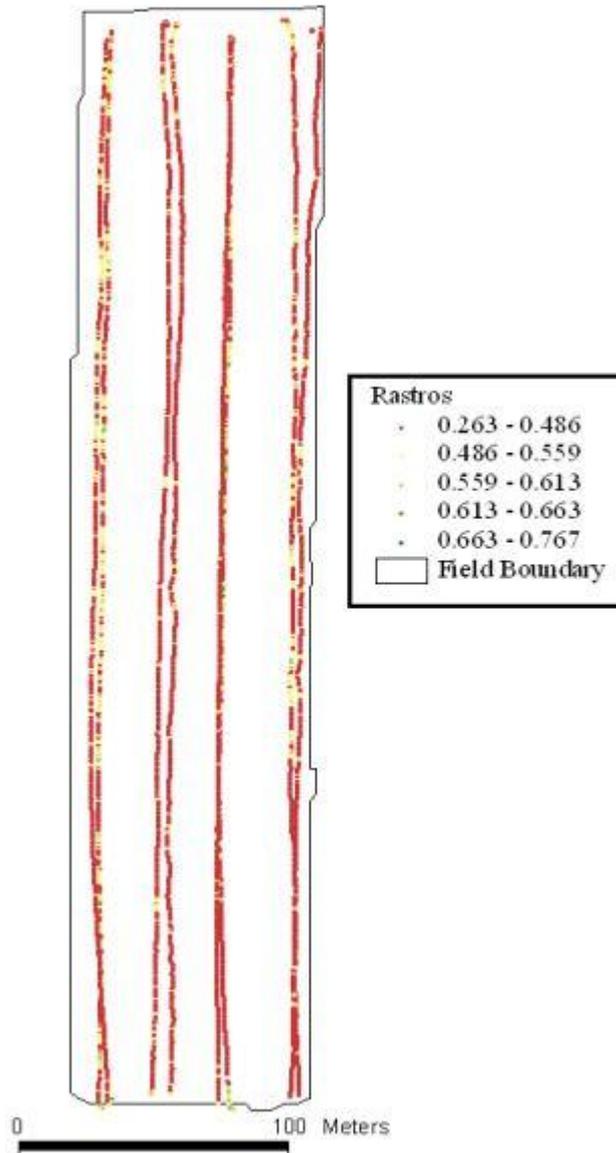


Figura 5 Leituras do sensor sobre o rastro do trator que possuem valores inferiores e que foram descartados

Na sequência foram simuladas densidades amostrais menores a partir da remoção gradual de pontos entre fileiras e ao longo destas. Nas larguras, foram removidas fileiras espaçadas de até 25 m, equivalente à larguras aproximadas das passadas do pulverizador.

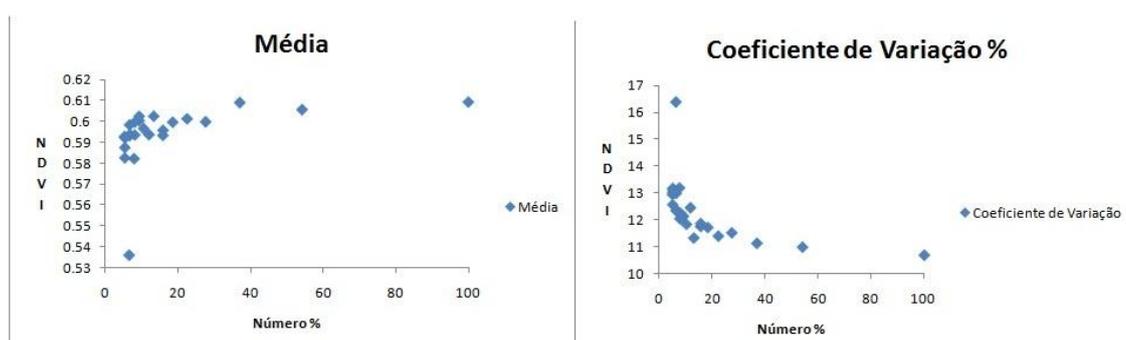
Em todas as frequências (5, 1, 0,5 e 0,1 Hz) foi observado o mesmo comportamento para todos os parâmetros estatísticos (Tabelas 1 a 4). Conforme aumentou a distância entre as leituras, o valor máximo de NDVI e a sua média apresentaram tendência de decréscimo, enquanto o desvio padrão e o coeficiente de variação apresentaram uma tendência crescente. O valor mínimo permaneceu constante, porque os tratamentos simulados foram a partir da primeira fileira da borda da lavoura com menores valores de NDVI.

As representações gráficas dos valores médios e coeficientes de variação de NDVI estão apresentadas nas Figuras 6 a 9.

Tabela 1 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 5 Hz

Distância(m)	Número	Redução (%)	NDVI				
			Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	69882	100	0.203	0.767	0.609	0.065	10.70
2em2	37867	54.19	0.203	0.766	0.605	0.067	10.99
3em3	25874	37.03	0.203	0.767	0.609	0.068	11.14
4em4	19300	27.62	0.203	0.762	0.600	0.069	11.53
5em5	15731	22.51	0.203	0.765	0.601	0.069	11.41
6em6	12979	18.57	0.203	0.762	0.599	0.070	11.73
7em7	11100	15.88	0.203	0.765	0.596	0.070	11.76
8em8	11093	15.87	0.203	0.743	0.593	0.070	11.88
9em9	9302	13.31	0.203	0.765	0.602	0.068	11.34
10em10	8401	12.02	0.203	0.765	0.594	0.074	12.47
11em11	7356	10.53	0.203	0.763	0.596	0.071	11.85
12em12	6500	9.30	0.203	0.762	0.600	0.073	12.16
13em13	6502	9.30	0.203	0.767	0.602	0.073	12.13
14em14	5646	8.08	0.203	0.75	0.599	0.072	12.06
15em15	5670	8.11	0.203	0.745	0.593	0.073	12.27
16em16	5526	7.91	0.203	0.743	0.582	0.077	13.21
17em17	4733	6.77	0.203	0.755	0.594	0.073	12.37
18em18	4652	6.66	0.203	0.743	0.593	0.077	13.00
19em19	4652	6.66	0.203	0.739	0.598	0.074	12.36
20em20	4570	6.54	0.203	0.729	0.536	0.088	16.41
21em21	3693	5.28	0.203	0.765	0.593	0.077	12.96
22em22	3749	5.36	0.203	0.764	0.592	0.075	12.58
23em23	3762	5.38	0.203	0.763	0.587	0.077	13.19
24em24	3787	5.42	0.203	0.748	0.592	0.077	13.05
25em25	3741	5.35	0.203	0.733	0.582	0.077	13.15

“Distância (m)” representa o espaçamento em metros de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

**Figura 6** Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 5 Hz**Tabela 2** Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 1 Hz

Distância (m)	Número	Redução %	NDVI				
			Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV %
1em1	13976	100	0.214	0.763	0.609	0.058	9.49
2em2	7573	54.19	0.214	0.761	0.605	0.059	9.75
3em3	5175	37.03	0.214	0.756	0.609	0.061	9.97

4em4	3860	27.62	0.214	0.753	0.600	0.062	10.26
5em5	3146	22.51	0.214	0.755	0.601	0.061	10.16
6em6	2596	18.57	0.214	0.754	0.599	0.063	10.53
7em7	2220	15.88	0.214	0.750	0.596	0.063	10.57
8em8	2219	15.88	0.214	0.730	0.593	0.063	10.65
9em9	1860	13.31	0.214	0.741	0.602	0.061	10.17
10em10	1680	12.02	0.214	0.746	0.594	0.067	11.26
11em11	1471	10.53	0.214	0.753	0.596	0.063	10.64
12em12	1300	9.30	0.214	0.753	0.600	0.066	11.07
13em13	1300	9.30	0.214	0.763	0.602	0.067	11.05
14em14	1129	8.08	0.214	0.747	0.599	0.066	10.97
15em15	1134	8.11	0.214	0.727	0.593	0.066	11.17
16em16	1105	7.91	0.214	0.724	0.582	0.070	12.09
17em17	947	6.78	0.214	0.747	0.594	0.067	11.23
18em18	930	6.65	0.214	0.726	0.593	0.070	11.77
19em19	930	6.65	0.214	0.733	0.598	0.068	11.34
20em20	914	6.54	0.214	0.755	0.591	0.067	11.41
21em21	739	5.29	0.214	0.751	0.593	0.071	12.02
22em22	750	5.37	0.214	0.750	0.592	0.069	11.59
23em23	752	5.38	0.214	0.752	0.587	0.071	12.13
24em24	757	5.42	0.214	0.720	0.592	0.071	11.94
25em25	748	5.35	0.214	0.721	0.582	0.070	12.05

“Distância (m)” representa o espaçamento em metros de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

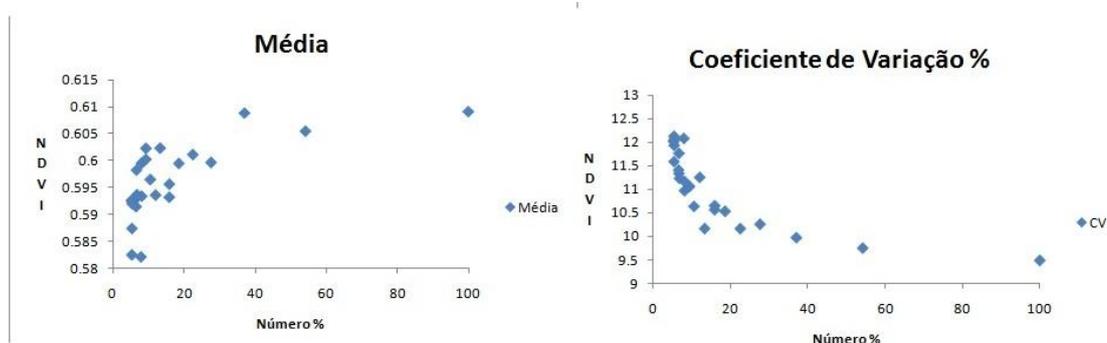


Figura 7 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 1 Hz

Tabela 3 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 0,5 Hz

Distância (m)	Número	Redução %	NDVI				
			Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	6988	100	0.227	0.756	0.609	0.054	8.88
2em2	3787	54.19	0.227	0.757	0.605	0.055	9.15
3em3	2587	37.02	0.227	0.754	0.609	0.057	9.39
4em4	1930	27.62	0.227	0.749	0.600	0.058	9.64
5em5	1573	22.51	0.227	0.751	0.601	0.057	9.50
6em6	1298	18.57	0.227	0.748	0.599	0.059	9.93
7em7	1110	15.88	0.227	0.748	0.596	0.059	9.94
8em8	1109	15.87	0.227	0.713	0.593	0.060	10.05
9em9	930	13.31	0.227	0.731	0.602	0.057	9.52

10em10	840	12.02	0.227	0.739	0.594	0.063	10.67
11em11	736	10.53	0.227	0.749	0.596	0.060	10.00
12em12	650	9.30	0.227	0.747	0.600	0.063	10.50
13em13	650	9.30	0.227	0.760	0.602	0.063	10.44
14em14	565	8.09	0.227	0.743	0.599	0.062	10.37
15em15	567	8.11	0.227	0.714	0.593	0.063	10.58
16em16	553	7.91	0.227	0.714	0.582	0.067	11.47
17em17	473	6.77	0.227	0.723	0.594	0.063	10.69
18em18	465	6.65	0.227	0.717	0.593	0.065	11.02
19em19	465	6.65	0.227	0.718	0.598	0.065	10.80
20em20	457	6.54	0.227	0.682	0.536	0.079	14.79
21em21	369	5.28	0.227	0.741	0.592	0.068	11.42
22em22	375	5.37	0.227	0.748	0.592	0.065	11.03
23em23	376	5.38	0.227	0.750	0.587	0.068	11.59
24em24	379	5.42	0.227	0.693	0.592	0.068	11.41
25em25	374	5.35	0.227	0.718	0.582	0.067	11.44

“Distância (m)” representa o espaçamento em metros de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

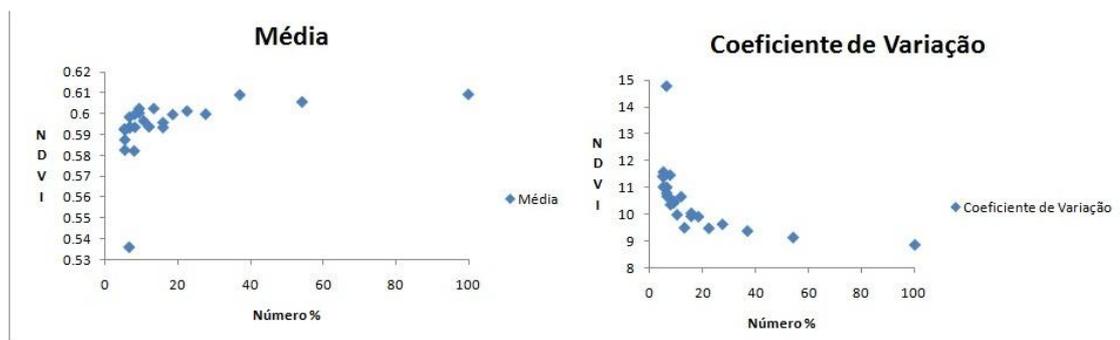


Figura 8 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 0,5 Hz

Tabela 4 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 0,1 Hz

Distância (m)	Número	Redução (%)	NDVI				
			Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	1398	100	0.411	0.744	0.609	0.044	7.19
2em2	757	54.15	0.424	0.738	0.605	0.045	7.36
3em3	517	36.98	0.424	0.747	0.609	0.047	7.74
4em4	386	27.61	0.424	0.737	0.600	0.047	7.81
5em5	315	22.53	0.424	0.698	0.601	0.046	7.70
6em6	260	18.60	0.424	0.733	0.599	0.049	8.17
7em7	222	15.88	0.424	0.698	0.596	0.048	8.00
8em8	222	15.88	0.424	0.678	0.593	0.048	8.17
9em9	186	13.30	0.424	0.702	0.602	0.045	7.50
10em10	168	12.02	0.424	0.702	0.594	0.052	8.69
11em11	147	10.52	0.424	0.739	0.597	0.048	8.06
12em12	130	9.30	0.424	0.739	0.600	0.051	8.45
13em13	130	9.30	0.424	0.744	0.602	0.052	8.58
14em14	113	8.08	0.424	0.688	0.599	0.050	8.28
15em15	113	8.08	0.424	0.681	0.593	0.049	8.22
16em16	111	7.94	0.424	0.687	0.582	0.054	9.31
17em17	95	6.80	0.424	0.667	0.594	0.050	8.45

18em18	93	6.65	0.424	0.691	0.593	0.053	8.92
19em19	93	6.65	0.424	0.691	0.598	0.053	8.85
20em20	91	6.51	0.424	0.628	0.534	0.052	9.66
21em21	75	5.36	0.424	0.691	0.593	0.054	9.12
22em22	75	5.36	0.424	0.678	0.592	0.051	8.57
23em23	75	5.36	0.424	0.688	0.587	0.053	8.99
24em24	76	5.44	0.424	0.686	0.592	0.053	9.00
25em25	75	5.36	0.424	0.675	0.583	0.053	9.05

“Distância (m)” representa o espaçamento em metros de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

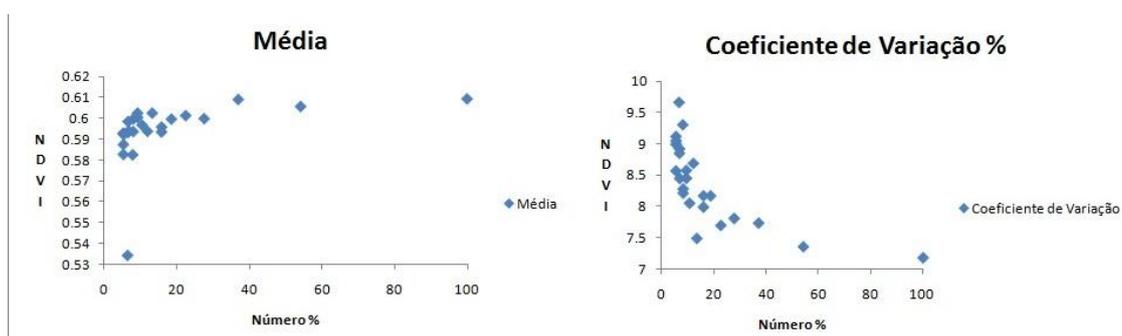


Figura 9 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 0,1 Hz

Após a redução gradual dos pontos, estes foram interpolados gerando-se mapas com pixels quadrangulares de 16m² (Figura 10). Analisou-se a similaridade entre mapas a partir da correlação de Pearson pixel a pixel. O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) é uma estatística utilizada para medir a força, a intensidade ou o grau de relação linear entre duas variáveis aleatórias (Barbetta et al., 2004; Kazmier, 2007).

A tabela 5 apresenta uma classificação do coeficiente de correlação linear de Pearson proposta por Santos (2007). Os valores variam de -1 a 1 podendo ser uma correlação negativa ou positiva. A figura 11 apresenta um gráfico com uma correlação linear de Pearson.

Tabela 5 Intervalos de valor do coeficiente de correlação e a correlação apresentado

Coeficiente de Correlação	Correlação
$r = 1$	Perfeita Positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte Positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada Positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca Positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima Positiva
$r = 0$	Nula
$0 < r < -0,1$	Ínfima Negativa
$-0,1 \leq r < -0,5$	Fraca Negativa
$-0,5 \leq r < -0,8$	Moderada Negativa
$-0,8 \leq r < -1$	Forte Negativa
$r = -1$	Perfeita Negativa

Adaptado de Santos (2007)

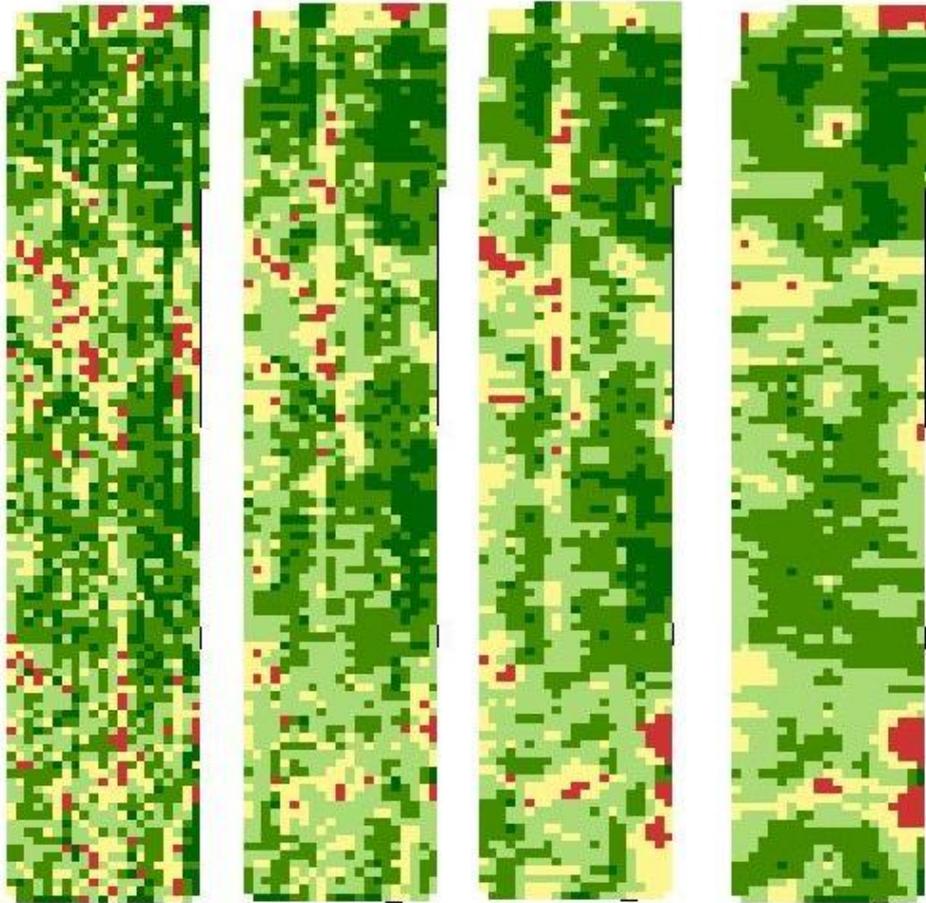


Figura 10 Mapas de trigo interpolados: mapa com leituras de 1 m, de 5 m, 10 m, 20 m; todos na frequência de 5 Hz

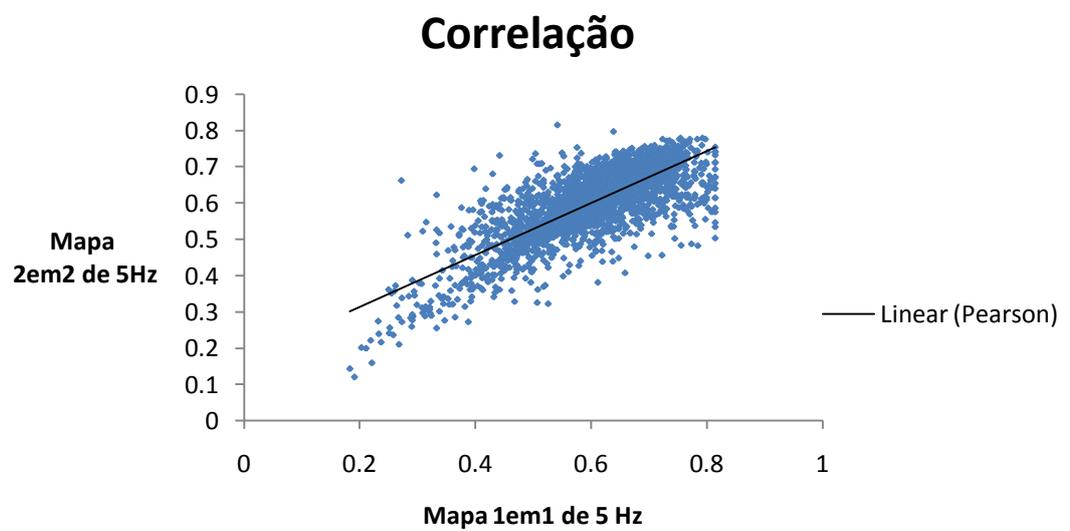


Figura 11 Representação gráfica do coeficiente de correlação linear Pearson

A tabela 6 apresenta os valores do coeficiente de correlação de Pearson para todos os mapas interpolados, desde 5 até 0,1Hz, com todas as fileiras até o mapa com fileiras espaçadas

Tabela 6 Valores de coeficiente de correlação de Pearson para a cultura do trigo

Distância (m)	Frequência			
	5	1	0,5	0,1
1em1	1	0,883	0,794	0,586
2em2	0,787	0,758	0,720	0,534
3em3	0,693	0,635	0,594	0,457
4em4	0,646	0,630	0,622	0,501
5em5	0,630	0,618	0,599	0,510
6em6	0,565	0,535	0,518	0,467
7em7	0,523	0,510	0,484	0,433
8em8	0,541	0,534	0,503	0,437
9em9	0,525	0,534	0,513	0,463
10em10	0,476	0,491	0,473	0,438
11em11	0,487	0,502	0,467	0,422
12em12	0,459	0,482	0,473	0,439
13em13	0,457	0,471	0,458	0,414
14em14	0,430	0,463	0,456	0,433
15em15	0,431	0,462	0,445	0,427
16em16	0,406	0,422	0,395	0,341
17em17	0,402	0,473	0,469	0,450
18em18	0,394	0,439	0,437	0,385
19em19	0,423	0,452	0,453	0,421
20em20	0,369	0,422	0,143	0,379
21em21	0,355	0,409	0,396	0,388
22em22	0,287	0,348	0,341	0,313
23em23	0,340	0,405	0,399	0,362
24em24	0,353	0,387	0,395	0,343
25em25	0,362	0,420	0,401	0,375

“Distância” representa o espaçamento em metros de uma leitura até a outra leitura; “Frequência” representa a frequência dos dados de NDVI dos mapas interpolados, em 5, 1, 0,5 e 0,1Hz

A única correlação forte foi entre o mapa de frequência de coleta de 1Hz com a coleta de 5 Hz e sem retirar nenhuma fileira de leitura. Até o espaçamento de 9 m entre leituras, os mapas obtiveram uma correlação moderada. O restante das correlações entre combinações de mapas apresentaram correlação fraca.

Os dados de milho também tiveram uma eliminação de dados brutos. Os dados que estavam fora do talhão foram removidos. Isto ocorreu devido ao erro do GPS e também ao tempo de desligamento da coleta dos dados (Figura 12).

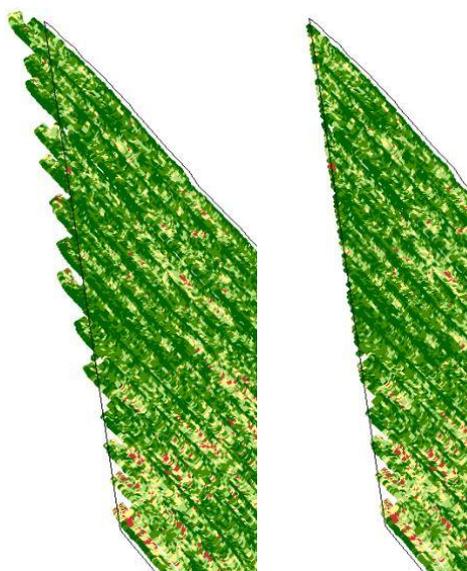


Figura 12 Mapa com erros de posicionamento (esquerda), e mapa sem erros de posicionamento (direita)

Os dados de milho foram raleados de forma diferente dos dados do trigo. Enquanto no trigo utilizou-se a primeira fileira de leitura em todas as distâncias, no milho a primeira fileira de leitura só foi utilizada no mapa original, nos demais mapas utilizou a metade da distância somada a primeira fileira. Desta forma a primeira fileira para os demais mapas foi adentrando no talhão.

A partir desta eliminação foram realizados os raleios simulando as frequências e as distâncias. Nas larguras obteve-se raleios, de até a 30 fileiras de semeadura, equivalente a 25,5 m.

Em todas as frequências (5, 1, 0,5 e 0,1 Hz) foi observado o mesmo comportamento para todos os parâmetros estatísticos (Tabelas 7 a 10). Conforme foi diminuindo o número de pontos, o máximo, desvio padrão, coeficiente de variação e a média tiveram uma tendência de decréscimo. O valor mínimo de NDVI apresentou uma tendência crescente quanto menor o número de pontos.

As representações gráficas das médias e dos coeficientes de variação estão nas Figuras 13 a 16.

Tabela 7 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 5 Hz

Distância	Número	Redução (%)	NDVI				
			Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	121976	100	0,056	0,608	0,821	0,110	18,03
2em2	60988	50	0,056	0,608	0,821	0,109	18,01
3em3	40393	33,12	0,056	0,605	0,807	0,112	18,49
4em4	30494	25	0,103	0,588	0,773	0,102	17,37
5em5	23975	19,66	0,175	0,609	0,821	0,107	17,58
6em6	20595	16,88	0,177	0,607	0,8	0,108	17,82
7em7	17460	14,31	0,165	0,609	0,812	0,105	17,28
8em8	15125	12,40	0,17	0,573	0,756	0,111	19,35
9em9	13182	10,81	0,153	0,605	0,789	0,107	17,64
10em10	12074	9,90	0,153	0,619	0,803	0,107	17,28
11em11	10835	8,88	0,194	0,619	0,807	0,107	17,36
12em12	9899	8,12	0,103	0,594	0,773	0,100	16,90
13em13	9720	7,97	0,167	0,610	0,797	0,113	18,61
14em14	8710	7,14	0,176	0,605	0,806	0,112	18,45
15em15	7810	6,40	0,175	0,602	0,806	0,109	18,15
16em16	7560	6,20	0,318	0,684	0,812	0,083	12,15
17em17	7552	6,19	0,179	0,606	0,802	0,114	18,80

18em18	6610	5,42	0,177	0,609	0,793	0,106	17,42
19em19	6558	5,38	0,153	0,616	0,821	0,111	18,10
20em20	6519	5,34	0,165	0,574	0,764	0,108	18,88
21em21	5507	4,51	0,165	0,598	0,782	0,104	17,33
22em22	5468	4,48	0,172	0,610	0,803	0,112	18,38
23em23	5397	4,42	0,172	0,603	0,789	0,102	16,85
24em24	5361	4,40	0,17	0,558	0,75	0,119	21,26
25em25	4460	3,66	0,185	0,600	0,798	0,106	17,65
26em26	4534	3,72	0,164	0,607	0,799	0,114	18,77
27em27	4443	3,64	0,175	0,610	0,789	0,105	17,27
28em28	4324	3,54	0,155	0,588	0,759	0,103	17,52
29em29	4258	3,49	0,188	0,619	0,795	0,094	15,16
30em30	4229	3,47	0,181	0,615	0,799	0,110	17,98

“Distância” representa o espaçamento em fileiras de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

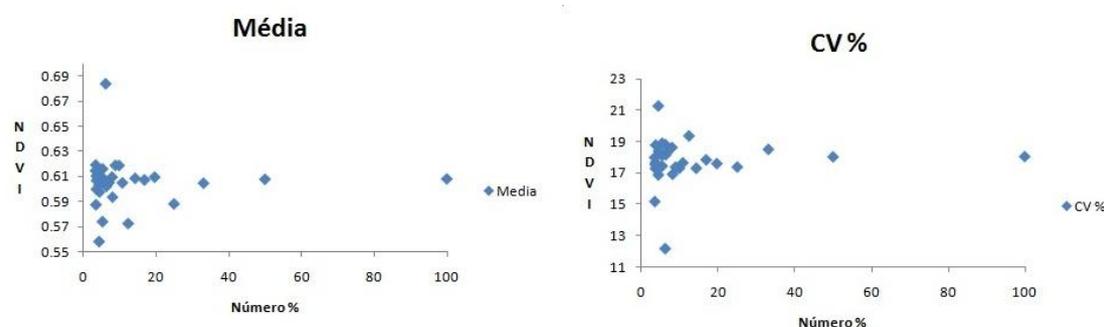


Figura 13 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 5 Hz

Tabela 8 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 1 Hz

Distância	Número	Redução (%)	NDVI				
			Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	24395	100	0,165	0,608	0,795	0,095	15,55
2em2	12198	50,00	0,174	0,608	0,785	0,094	15,43
3em3	8079	33,12	0,179	0,605	0,791	0,097	16,02
4em4	6099	25,00	0,178	0,588	0,751	0,085	14,52
5em5	4795	19,66	0,207	0,609	0,792	0,092	15,06
6em6	4119	16,88	0,197	0,607	0,783	0,092	15,17
7em7	3492	14,31	0,204	0,609	0,796	0,090	14,74
8em8	3025	12,40	0,204	0,573	0,727	0,095	16,52
9em9	2636	10,81	0,172	0,605	0,776	0,092	15,23
10em10	2415	9,90	0,187	0,619	0,783	0,092	14,90
11em11	2167	8,88	0,229	0,619	0,787	0,093	14,97
12em12	1980	8,12	0,197	0,594	0,751	0,084	14,15
13em13	1944	7,97	0,215	0,610	0,780	0,099	16,30
14em14	1742	7,14	0,200	0,605	0,785	0,097	15,98
15em15	1562	6,40	0,211	0,602	0,784	0,094	15,56
16em16	1512	6,20	0,335	0,684	0,787	0,069	10,16
17em17	1510	6,19	0,199	0,606	0,785	0,099	16,29
18em18	1322	5,42	0,217	0,609	0,781	0,089	14,65
19em19	1312	5,38	0,172	0,616	0,792	0,098	15,88
20em20	1304	5,35	0,197	0,574	0,737	0,092	16,03

21em21	1101	4,51	0,212	0,598	0,769	0,086	14,42
22em22	1094	4,48	0,214	0,610	0,788	0,097	15,94
23em23	1079	4,42	0,211	0,603	0,771	0,084	13,91
24em24	1072	4,39	0,209	0,558	0,722	0,103	18,41
25em25	892	3,66	0,234	0,600	0,775	0,091	15,15
26em26	907	3,72	0,200	0,607	0,785	0,099	16,36
27em27	889	3,64	0,223	0,610	0,776	0,091	14,84
28em28	865	3,55	0,191	0,588	0,723	0,086	14,58
29em29	852	3,49	0,209	0,619	0,784	0,077	12,49
30em30	846	3,47	0,228	0,615	0,783	0,096	15,58

“Distância” representa o espaçamento em fileiras de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

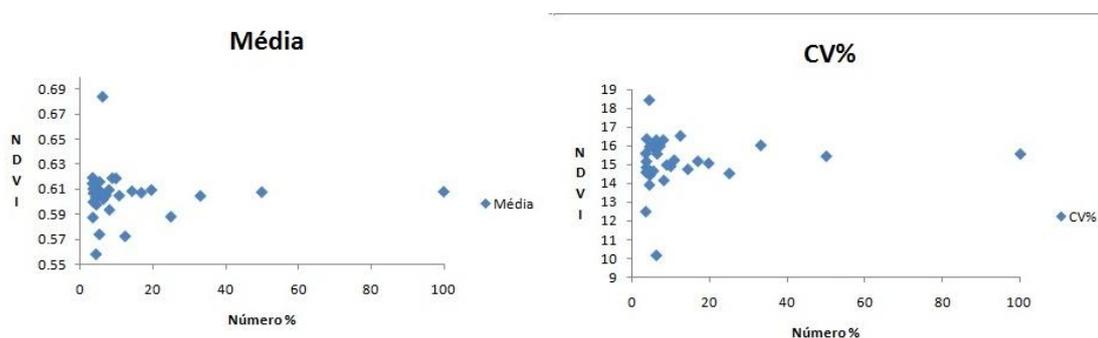


Figura 14 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 1 Hz

Tabela 9 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 0,5 Hz

Distância	Número	Redução (%)	NDVI				
			Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	12198	100	0,171	0,608	0,786	0,088	14,51
2em2	6099	50	0,184	0,608	0,779	0,087	14,36
3em3	4039	33,11	0,183	0,605	0,781	0,090	14,95
4em4	3049	25	0,206	0,588	0,751	0,078	13,22
5em5	2398	19,66	0,219	0,609	0,771	0,085	13,92
6em6	2060	16,89	0,220	0,607	0,776	0,085	14,07
7em7	1746	14,31	0,241	0,609	0,773	0,083	13,64
8em8	1513	12,40	0,210	0,573	0,717	0,087	15,27
9em9	1318	10,81	0,200	0,605	0,766	0,085	14,02
10em10	1207	9,90	0,199	0,619	0,780	0,086	13,91
11em11	1084	8,89	0,245	0,619	0,780	0,086	13,98
12em12	990	8,12	0,211	0,594	0,733	0,077	12,94
13em13	972	7,97	0,242	0,610	0,771	0,094	15,34
14em14	871	7,14	0,202	0,605	0,776	0,090	14,89
15em15	781	6,40	0,238	0,602	0,768	0,087	14,39
16em16	756	6,20	0,352	0,684	0,785	0,064	9,29
17em17	755	6,19	0,208	0,606	0,777	0,093	15,35
18em18	661	5,42	0,220	0,609	0,770	0,081	13,33
19em19	656	5,38	0,200	0,616	0,767	0,091	14,75
20em20	652	5,35	0,206	0,574	0,727	0,085	14,81
21em21	551	4,52	0,253	0,598	0,751	0,078	13,03
22em22	547	4,48	0,220	0,610	0,780	0,090	14,79

23em23	540	4,43	0,336	0,603	0,761	0,076	12,63
24em24	536	4,39	0,237	0,558	0,711	0,095	17,01
25em25	446	3,66	0,242	0,600	0,770	0,084	14,03
26em26	453	3,71	0,202	0,607	0,775	0,093	15,25
27em27	444	3,64	0,287	0,610	0,766	0,085	13,85
28em28	432	3,54	0,206	0,588	0,716	0,077	13,06
29em29	426	3,49	0,265	0,619	0,773	0,071	11,45
30em30	423	3,47	0,256	0,615	0,773	0,091	14,79

“Distância” representa o espaçamento em fileiras de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

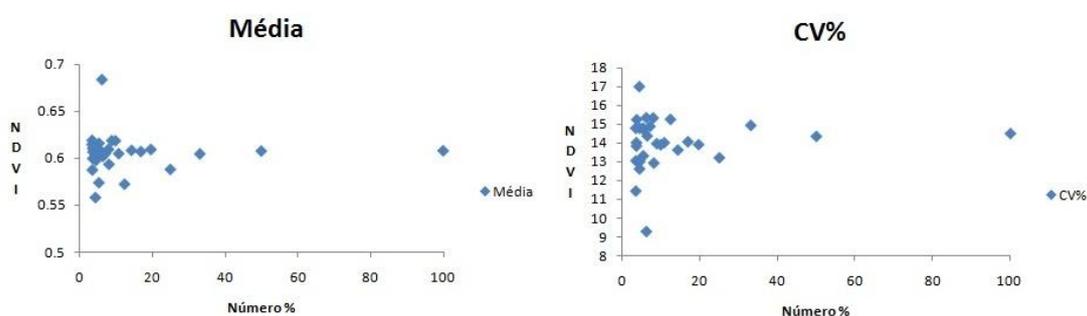


Figura 15 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 0,5 Hz

Tabela 10 Estatística descritiva dos dados da leitura feita em frequência de coleta de 0,1 Hz

Distância	Número	Redução (%)	NDVI				
			Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV (%)
1em1	2440	100	0,274	0,608	0,765	0,072	11,81
2em2	1220	50	0,262	0,608	0,767	0,070	11,57
3em3	808	33,11	0,229	0,605	0,762	0,074	12,31
4em4	610	25	0,268	0,588	0,696	0,058	9,87
5em5	480	19,67	0,337	0,609	0,751	0,067	10,98
6em6	412	16,89	0,298	0,607	0,758	0,069	11,44
7em7	349	14,30	0,281	0,609	0,761	0,066	10,85
8em8	303	12,42	0,327	0,573	0,699	0,067	11,72
9em9	264	10,82	0,299	0,605	0,762	0,066	10,83
10em10	241	9,88	0,336	0,619	0,750	0,069	11,22
11em11	217	8,89	0,349	0,619	0,760	0,071	11,41
12em12	198	8,11	0,311	0,594	0,696	0,060	10,07
13em13	194	7,95	0,371	0,610	0,746	0,077	12,65
14em14	174	7,13	0,314	0,605	0,762	0,075	12,32
15em15	156	6,39	0,342	0,602	0,736	0,067	11,08
16em16	151	6,19	0,466	0,684	0,762	0,047	6,81
17em17	151	6,19	0,314	0,606	0,756	0,076	12,60
18em18	132	5,41	0,307	0,609	0,756	0,064	10,43
19em19	131	5,37	0,267	0,616	0,738	0,075	12,15
20em20	130	5,33	0,274	0,574	0,689	0,065	11,37
21em21	110	4,51	0,460	0,598	0,717	0,058	9,76
22em22	109	4,47	0,298	0,610	0,758	0,074	12,10
23em23	108	4,43	0,410	0,603	0,742	0,057	9,40
24em24	107	4,39	0,287	0,559	0,689	0,076	13,53

25em25	89	3,65	0,453	0,600	0,740	0,063	10,56
26em26	91	3,73	0,314	0,607	0,733	0,077	12,73
27em27	89	3,65	0,407	0,610	0,743	0,068	11,17
28em28	86	3,52	0,340	0,588	0,700	0,059	10,05
29em29	85	3,48	0,446	0,619	0,742	0,055	8,94
30em30	85	3,48	0,342	0,614	0,742	0,076	12,43

“Distância” representa o espaçamento em fileiras de uma leitura até a outra leitura; “Número” representa a quantidade de pontos em cada tratamento; “Redução (%)” representa a porcentagem de pontos em relação ao primeiro espaçamento; “Mínimo” representa o valor mínimo do NDVI de cada tratamento; “Máximo” representa o valor máximo de NDVI de cada tratamento; “Média” representa o valor médio de NDVI para cada tratamento; “Desvio Padrão” representa o valor do desvio padrão do NDVI para cada tratamento; “CV (%)” representa o coeficiente de variação em porcentagem do NDVI para cada tratamento

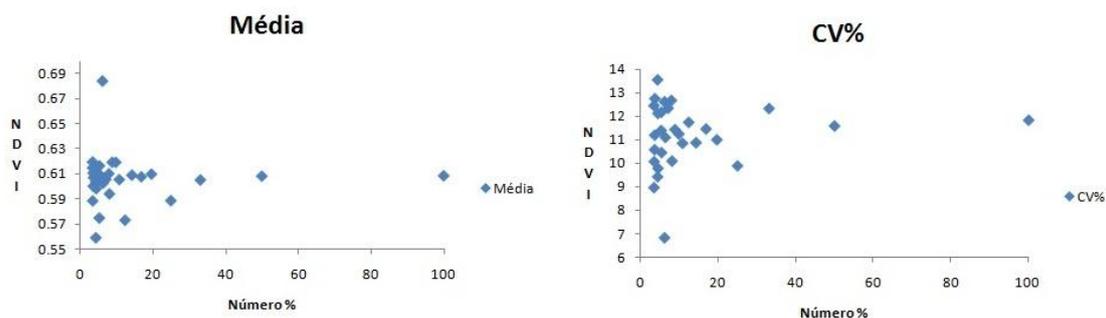


Figura 16 Representação gráfica dos valores de NDVI médios e coeficientes de variação para a frequência de coleta de 0,1 Hz

A figura 17 apresenta os mapas com interpolação dos pontos com valores de NDVI com diferentes densidades para o milho. Na tabela 11 estão os valores de correlação linear de Pearson para os mapas interpolados de milho.

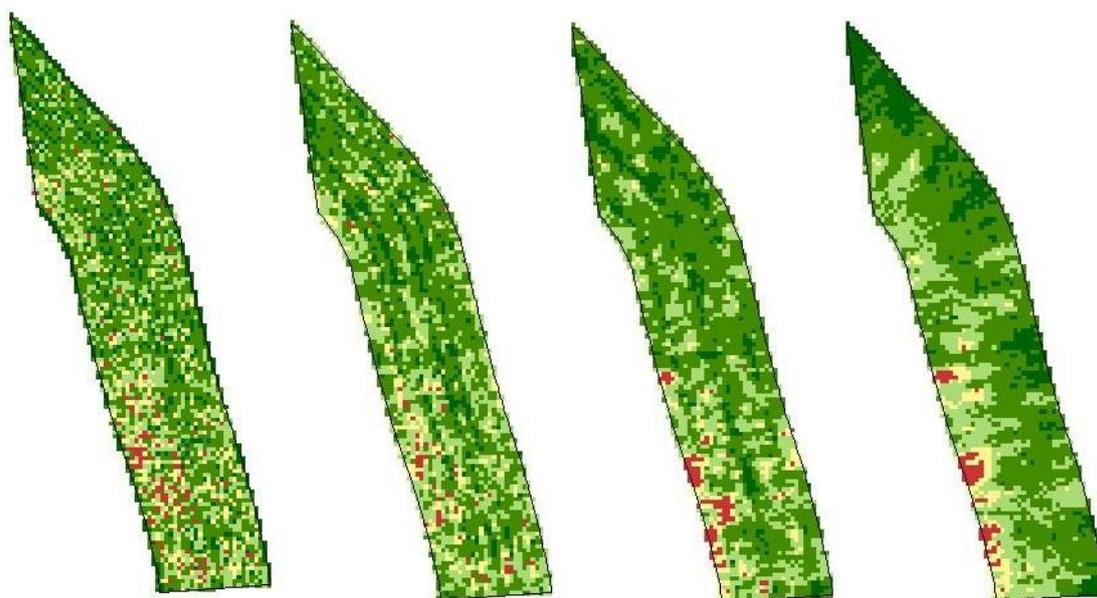


Figura 17 Mapas de milho interpolados: Mapa com leituras de 1 fileira; mapa com leituras de 5 fileiras, mapa com leituras de 10 fileiras e mapa com leituras de 30 fileiras; todos na frequência de 5 Hz

Tabela 11 Valores de coeficiente de correlação de Pearson para a cultura do milho

Distância	Frequência			
	5	1	0,5	0,1
1em1	1	0,891	0,808	0,516

2em2	0,785	0,744	0,680	0,451
3em3	0,609	0,555	0,506	0,368
4em4	0,508	0,462	0,436	0,376
5em5	0,435	0,379	0,356	0,333
6em6	0,451	0,417	0,403	0,373
7em7	0,369	0,345	0,326	0,259
8em8	0,489	0,467	0,453	0,381
9em9	0,379	0,366	0,355	0,335
10em10	0,332	0,311	0,263	0,265
11em11	0,315	0,287	0,247	0,256
12em12	0,416	0,431	0,424	0,426
13em13	0,360	0,359	0,359	0,341
14em14	0,368	0,368	0,359	0,333
15em15	0,356	0,365	0,361	0,336
16em16	0,336	0,347	0,338	0,331
17em17	0,387	0,388	0,383	0,369
18em18	0,281	0,288	0,289	0,262
19em19	0,289	0,297	0,293	0,277
20em20	0,341	0,355	0,360	0,329
21em21	0,272	0,304	0,305	0,257
22em22	0,276	0,281	0,270	0,225
23em23	0,163	0,168	0,150	0,107
24em24	0,359	0,360	0,352	0,329
25em25	0,188	0,187	0,186	0,151
26em26	0,291	0,318	0,317	0,264
27em27	0,291	0,315	0,305	0,265
28em28	0,297	0,313	0,307	0,292
29em29	0,144	0,134	0,119	0,067
30em30	0,302	0,309	0,304	0,288

Na cultura do milho os mapas que resultaram em correlação forte com o mapa espaçado de uma em uma fileira com frequência de 5 Hz foram os mapas de espaçamento de uma em uma fileira em duas frequências 1 e 0,5 Hz. A correlação moderada foi com os mapas com leituras espaçadas até três fileiras nas frequências de 5, 1, 0,5 e 0,1 Hz e com o mapa espaçado até 4 fileiras em 5 Hz. O restante dos mapas apresenta correlação fraca.

4. Conclusões

As correlações de Pearson para o NDVI revelaram que para obter um mapa semelhante ao original não é permitido afastar os sensores, nem diminuir muito a frequência de coleta de dados no campo. Para a cultura do milho as correlações fortes foram com todas as fileiras na frequência de 1 e 0,5 Hz. Na cultura do trigo, a única correlação forte foi para leituras de 1 m na frequência de 1 Hz.

5. Referências

BARBETTA, P.A.; REIS, M.M.; BORNIA, A.C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2004. 410p.

HABOUDANE, D. et al. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 81, p. 416-426, 2002.

KAZMIER, L.J. **Estatística aplicada à administração e economia**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 392p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: Editora: UFV, 2005. 320 p.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão. Parte 2: diagnóstico, aplicação localizada e considerações econômicas**. Engenharia Agrícola, v. 17, n. 2, p. 108-121, 1997

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão – O Gerenciamento da Variabilidade**. O autor, Piracicaba, 2001.

POVH, F.P. ; MOLIN, J.P. ; GIMENEZ, L.M. ; PAULETTI, V.; MOLIN, R. ; SALVI, J.V.. **Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. Pesquisa Agropecuária Brasileira** , v. 43 , p. 1075-1083, 2008.

POVH, F.P. ; MOLIN, J.P. ; GIMENEZ, L.M. **Avaliação da resposta do sensor Crop Circle® a diferentes doses de nitrogênio e populações de plantas de milho (*zea mays* L.)**, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...**, 2010. 10 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL,J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plant with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. V. 1, p. 309-317.

SANTOS, Carla, (2007), Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem, Lisboa, Edições Sílabo.

STAFFORD, J.V. An Investigation into the within-field spatial variability of grain quality. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999, Odense. **Proceedings...** Sheffield: Sheffield Academic Press, 1999. p. 353-361.