

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Depto. de Engenharia de Biossistemas

**Comparação entre leituras de reflectância de
cana-de-açúcar a partir de sensor orbital e sensor
proximal ativo**

Relatório Final PIBIC – CNPq

Período: 08/2011 a 07/2012

Aluno: Fabrício T. R. de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Molin

Piracicaba, Agosto de 2012

Comparação entre leituras de reflectância de cana-de-açúcar a partir de sensor orbital e sensor proximal ativo

1. Introdução

A população mundial vem crescendo de forma contínua ao longo dos últimos anos, e tudo indica continuará a crescer nas próximas décadas, sendo assim necessária a adoção de medidas que visem a qualidade de vida das pessoas. Nesse aspecto, destaca-se a necessidade de garantir a disponibilidade mundial de alimentos e sua adequada distribuição. Soma-se a isso a crescente preocupação com a sustentabilidade da agricultura e a necessidade da adoção de práticas menos danosas ao ambiente, o que propicia um cenário bastante desafiador ao setor produtivo.

Dentre as tecnologias que despontam para fazer frente aos desafios desse novo milênio, a Agricultura de Precisão se destaca como uma poderosa ferramenta. Agricultura de Precisão é um conjunto de tecnologias e procedimentos gerenciais utilizados para que as lavouras e o sistema de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados. A necessidade da dosagem de insumos que permitam maximizar a produção sem que potenciais excedentes de fertilizantes e defensivos comprometam a qualidade, especialmente da água, foi o fator principal para o desenvolvimento da tecnologia (Molin, 2003).

No que diz respeito ao manejo da adubação, deparamo-nos com o nitrogênio (N), um dos nutrientes exigidos em maior quantidade pelas plantas, caracterizado como macro nutriente primário a nutrição de plantas. Este é um elemento afetado por uma dinâmica complexa, sendo o manejo adequado da adubação nitrogenada um dos mais difíceis. O nitrogênio pode ser considerado o nutriente mineral mais importante do ponto de vista de quantidades existentes em plantas e, muitas vezes, também do ponto de vista econômico como fertilizante (Raij, 1991).

A questão do manejo do nitrogênio nas culturas motiva estudos, dentre os quais se destacam trabalhos com a utilização de sensoriamento remoto (Povh et. al. 2007; Frasson et. al. 2007; Motomiya et. al. 2009; Bragagnolo, 2010; Portz et. al. 2012). Sensoriamento remoto é a técnica de se observar e ou coletar dados de corpos ou áreas sem o contato físico (Molin, 2003). Geralmente a aquisição de informações é baseada na captação de ondas eletromagnéticas em comprimentos de onda específicos, basicamente na região do visível e infra-vermelho próximo. O uso da energia eletromagnética pelo sensoriamento remoto compreende a aquisição de dados - e sua posterior análise - oriundos de processos como propagação da energia na atmosfera, interação entre a energia e materiais localizados sobre a

superfície terrestre e a energia refletida por tais materiais, sendo esta última registrada pelo sensor (Beltrame, 2008).

A região do espectro eletromagnético que desperta maior interesse por parte do sensoriamento remoto é a que se estende da faixa do visível até a do infra-vermelho (IV), com as quais se calculam a maioria dos Índices de Vegetação. Os índices de vegetação, (IVs), podem ser definidos como a combinação de dados de duas ou mais dessas bandas espectrais, selecionadas com o objetivo de melhorar a relação desses dados com os parâmetros da vegetação (Frasson, 2007).

Um dos índices mais tradicionais é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) (Rouse et al. 1973), o qual preconizava uma relação entre medidas espectrais de duas bandas que melhor resolvia o problema das interferências do solo na resposta da vegetação e também diminuía as influências da atmosfera e das variações sazonais do ângulo do Sol. No entanto, a influência do solo, da atmosfera e da geometria de iluminação e visada não foi adequadamente eliminada, tendo surgido diversas variações para o NDVI, na tentativa de obter um índice menos sensível a tais influências. Atualmente, utiliza-se qualquer par de bandas do vermelho (V) e do infra vermelho próximo (IVP), proveniente de qualquer sensor óptico, e alguns estudos mais recentes têm investigado a aplicabilidade de bandas do infra vermelho médio (IVM) (Frasson, 2007). Os valores de NDVI são expressos em uma escala de -1 a 1, conforme a equação 1:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)}$$

em que: ρ_{IVP} = reflectância no IVP ;

ρ_V = reflectância no V.

O NDVI é largamente utilizado, e pode ser calculado a partir de dados provenientes de diversos sensores, que podem ser terrestres, aéreos ou embarcados em satélites orbitais, desde que obviamente os mesmos possuam as bandas necessárias.

O NDVI no entanto não é o único Índice de Vegetação utilizado na determinação de parâmetros de vegetação. Diversas empresas privadas vêm lançando sensores dedicados, destinados a diferentes fins, em especial a mensuração de biomassa vegetal. Um exemplo é o sensor Yara N-Sensor ALST^M, utilizado nesse trabalho, que calcula o IVB (Índice de Vigor de Biomassa), através das bandas “Red Edge” e Infravermelho.

A aquisição de dados via sensoriamento remoto pode ser subdividida entre o

Sensoriamento Orbital, que faz uso de imagens obtidas via satélites; Sensoriamento Sub-orbital, que utiliza imagens aéreas obtidas com aeronaves; e o Sensoriamento Próximo, que utiliza dados obtidos com sensores instalados na própria área de estudo, geralmente a bordo de tratores ou implementos. A escolha entre um ou outro envolve diversos fatores, como o custo, praticidade, acurácia, precisão, etc. Atualmente se encontram disponíveis uma vasta gama de opções de sensores a bordo de satélites (orbitais), assim como diversas opções de sensores proximais (terrestres).

2. Objetivo

Este trabalho teve por objetivo comparar leituras de reflectância vegetal por meio de índices de vegetação, que se correlacionam com biomassa e nutrição nitrogenada vegetal em cana-de-açúcar, utilizando um sensor orbital passivo e um sensor ativo terrestre, verificando-se possível correspondência entre seus dados.

3. Material e Métodos

3.1 Área de Estudo

As áreas analisadas nesse trabalho tratam-se de talhões de cana-de-açúcar cedidas pela Usina São Martinho S.A. Foram estudados um total de 8 locais, localizados em glebas das fazendas Santa Olívia, Rancho Alegre, Santa Amélia, Pau D'Alho, Santa Margarida e Capão da Cruz. As áreas se encontram na região de Ribeirão Preto, porção noroeste do Estado de São Paulo. O clima dessa região é descrito como Tropical (Aw), com inverno seco. A figura 1 demonstra a distribuição das áreas de estudo.

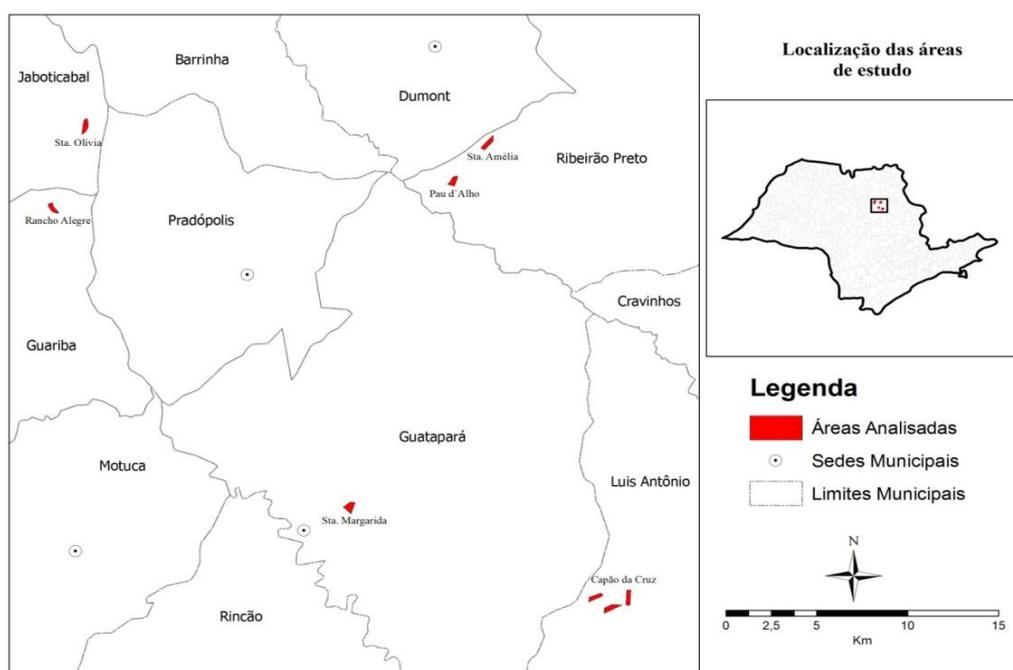


Figura1 – Distribuição espacial das áreas de estudo

3.2 Leituras com Sensor Proximal

As leituras proximais foram realizadas com o sensor Yara N-Sensor ALS™. O N-Sensor trabalha com a razão entre os comprimentos de onda de 730nm (“Red Edge”) e 760 nm (Infravermelho Próximo), através das quais se obtêm o Índice de Vigor de Biomassa (IVB), que posteriormente é utilizado para estimar o teor de N na planta. Trata-se de um sensor óptico ativo (possui sua própria fonte de luz), ou seja, pode realizar operações sem presença de luminosidade adicional e não é influenciado pela luminosidade solar. O equipamento coleta dados na frequência de 1 Hz, conseguindo coletar cerca de 300 pontos por hectare, o que confere coleta de dados em alta resolução espacial. Este foi acoplado na parte superior da cabine de um trator, realizando um “escaneamento” lateral ao deslocamento do trator (3 m para cada lado do trator).

As leituras foram realizadas em duas safras, 2009 - 2010 e 2010 - 2011, e em diferentes estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar. As tabelas 1 e 2 ilustram a distribuição temporal das leituras:

Tabela 1: Datas das medições com o N-Sensor entre 2009 e 2010, e respectivas alturas de colmo de cana-de-açúcar.

	Áreas		Datas das medições		
			1ª (20 cm)	1ª (40 cm)	3ª (60 cm)
Fazenda: Pau d’Alho	Gleba: 4554	Quadra: 06	11/08/2009	05/10/2009	03/11/2009
Fazenda: Santa Amélia	Gleba: 4189	Quadra: 16	11/08/2009	05/10/2009	03/11/2009
Fazenda: Santa Margarida	Gleba: 3372	Quadra: 01	18/08/2009	29/09/2009	21/10/2009
Fazenda: Capão da Cruz	Gleba: 7288	Quadra: 04	31/08/2009	13/10/2009	03/11/2009
Fazenda: Santa Olívia	Gleba: 5288	Quadra: 01	30/11/2009	06/01/2010	04/02/2010
Fazenda: Capão da Cruz	Gleba: 7275	Quadra: 10	25/11/2009	16/12/2010	04/02/2010
Fazenda: Capão da Cruz	Gleba: 7286	Quadra: 05	25/11/2009	16/12/2010	04/02/2010
Fazenda Rancho Alegre	Gleba: 5394	Quadra: 11	16/12/2009	06/01/2010	04/02/2010

Tabela 2: Datas das medições com o N-Sensor entre 2010 e 2011, e respectivas alturas de colmo de cana-de-açúcar.

Áreas			Datas das medições	
			1ª (30 cm)	1ª (50 cm)
Fazenda: Pau d'Alho	Gleba: 4554	Quadra: 06	23/11/2010	13/12/2010
Fazenda: Santa Amélia	Gleba: 4189	Quadra: 16	23/11/2010	13/12/2010
Fazenda: Santa Margarida	Gleba: 3372	Quadra: 01	-	07/12/2010
Fazenda: Capão da Cruz	Gleba: 7288	Quadra: 04	28/10/2010	07/12/2010
Fazenda: Santa Olívia	Gleba: 5288	Quadra: 01	15/12/2010	10/01/2011
Fazenda: Capão da Cruz	Gleba: 7275	Quadra: 10	07/12/2010	12/01/2011
Fazenda: Capão da Cruz	Gleba: 7286	Quadra: 05	07/12/2010	12/01/2011
Fazenda: Rancho Alegre	Gleba: 5394	Quadra: 11	10/01/2011	27/01/2011

3.3 Imagens Orbitais

As imagens orbitais usadas para comparação com as leituras do sensor proximal são provenientes do sensor passivo TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5, especificamente as bandas 3 e 4 que operam no Vermelho e Infravermelho Próximo (630 – 690 nm e 760 – 900 nm, respectivamente). Essas bandas foram escolhidas por serem as que mais se aproximam das utilizadas normalmente nos sensores proximais, que utilizam o V (Vermelho) e o IVP (Infravermelho Próximo) em diversos Índices de Vegetação. As imagens têm resolução espacial de 30x30m e resolução espectral de 8 bits, e são disponibilizadas gratuitamente através do website do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Neste trabalho, foi realizada uma busca no banco de dados Landsat do INPE para todas as 39 possibilidades de comparação com as leituras do sensor buscando-se as imagens orbitais com as datas mais próximas das leituras com o sensor proximal em cada área estudada.

3.4 Processamento de Dados

Obtidas as imagens, realizou-se uma triagem verificando quais poderiam efetivamente ser utilizadas, descartando-se as que se encontravam prejudicadas por interferências atmosféricas (nuvens). Iniciou-se então o processamento das imagens, através do software ArcGIS 9.3® (ESRI). Para todas as imagens utilizáveis, foi realizado uma “extração” dos pixels referentes a cada área de estudo, para as bandas 3 e 4 (Vermelho e Infravermelho Próximo). Realizou-se então a calibração radiométrica proposta por Chander et. al. (2007), e posteriormente foi calculado o NDVI, em todas as datas com bons dados disponíveis. Paralelamente, os dados provenientes das leituras previamente realizadas com o sensor proximal foram interpolados, sendo o tamanho de pixel definido em 900m², a mesma resolução espacial do sensor orbital para fins

decomparação direta.

De posse de todos os mapas para os dois Índices de Vegetação, os conjuntos de dados foram sobrepostos, empregando sempre a imagem mais próxima no tempo de sua leitura correspondente. Por fim, os valores individuais de cada pixel, para ambos os sensores, foram correlacionados através do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, obtendo-se um gráfico e um valor de correlação (R) para cada combinação.

Para comparar as imagens geradas por dois índices de vegetação distintos em uma mesma escala, utilizou-se o procedimento de normalização dos dados.

4. Resultados e Discussão

Datas das imagens disponíveis do sensor orbital Landsat (LS) em relação ao sensor terrestre e sua diferença em dias são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Datas dos dados e diferença de dias entre as medições dos sensores.

Data Medição N-Sensor	Imagem LS mais próxima	Dias de Diferença
11/08/2009	12/08/2009	-1
11/08/2009	12/08/2009	-1
18/08/2009	12/08/2009	6
31/08/2009	28/08/2009	3
29/09/2009	29/09/2009	0
05/10/2009	15/10/2009	-10
05/10/2009	15/10/2009	-10
13/10/2009	15/10/2009	-2
21/10/2009	15/10/2009	6
03/11/2009	31/10/2009	3
03/11/2009	31/10/2009	3
03/11/2009	31/10/2009	3
25/11/2009	16/11/2009	9
25/11/2009	16/11/2009	9
30/11/2009	02/12/2009	-2
16/12/2009	18/12/2009	-2
16/12/2009	18/12/2009	-2
06/01/2010	19/01/2010	-13
06/01/2010	19/01/2010	-13
04/02/2010	04/02/2010	0
04/02/2010	04/02/2010	0
04/02/2010	04/02/2010	0
04/02/2010	04/02/2010	0
28/10/2010	19/11/2010	-22
23/11/2010	19/11/2010	4
23/11/2010	19/11/2010	4
07/12/2010	05/12/2010	2
07/12/2010	05/12/2010	2

07/12/2010	05/12/2010	2
07/12/2010	05/12/2010	2
13/12/2010	05/12/2010	8
13/12/2010	05/12/2010	8
15/12/2010	21/12/2010	-6
10/01/2011	06/01/2011	4
10/01/2011	06/01/2011	4
12/01/2011	06/01/2011	6
12/01/2011	06/01/2011	6
27/01/2011	22/01/2011	5

A partir da Tabela 3, foi construído um gráfico para facilitar a visualização dos resultados (Figura 2):

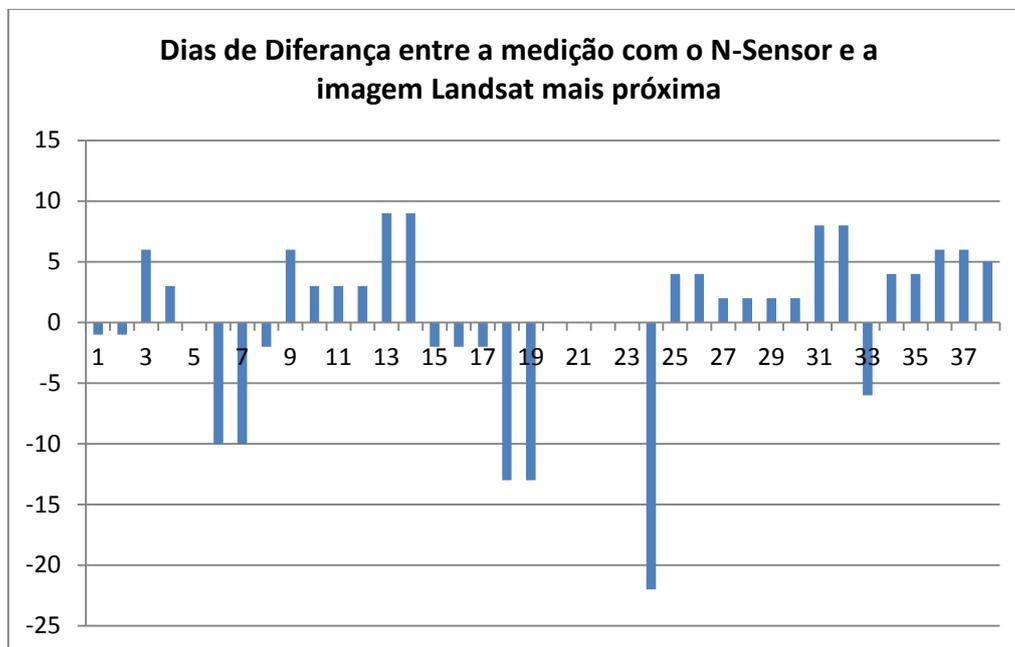


Figura 2: Diferença de dias entre as medições N-Sensor e a Imagem Landsat mais próxima

É possível verificar que há uma variação temporal dos dias de medição com o sensor e a imagem Landsat com data mais próxima, que podem ir de 0 a 22 dias de diferença, sendo que a maior parte das áreas teve dados com menos de 10 dias de diferença entre a mensuração dos dois sistemas sensores. Isso se deve ao fato de o sensor Landsat ter uma resolução temporal de 26 dias, ou seja, a cada 26 dias repete sua passagem sobre um mesmo local, de modo que na maior parte das situações foi possível adquirir uma imagem com baixa distância temporal.

Com todas as imagens obtidas do website do INPE em mãos, iniciou-se o processo de triagem, visando elencar quais delas poderiam ser utilizadas efetivamente. Isso foi necessário devido a condições ambientais que podem deteriorar a qualidade da

imagem no momento da aquisição, em especial a presença de nuvens. Desse modo, as imagens foram classificadas em Utilizáveis ou Inutilizáveis, de acordo com o critério de a área analisada estar livre da presença de nuvens ou não. As figuras 3 e 4 ilustram imagens nas duas situações:

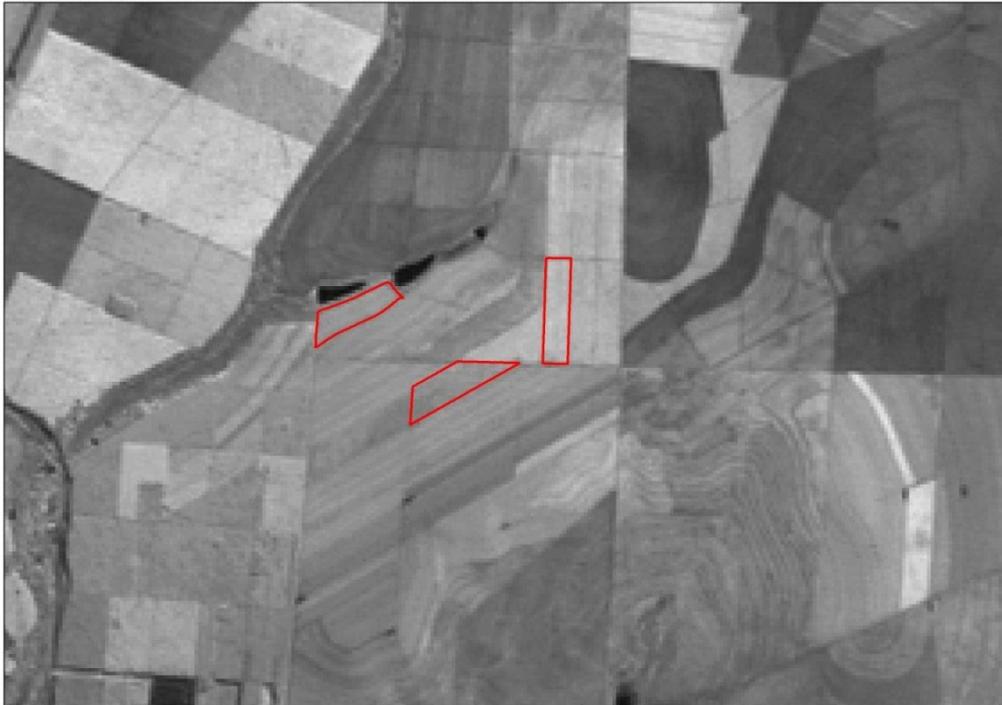


Figura 3: Parte das áreas analisadas (Complexo Capão da Cruz) sobre a banda 4 do sensor Landsat, evidenciando uma imagem classificada como Utilizável

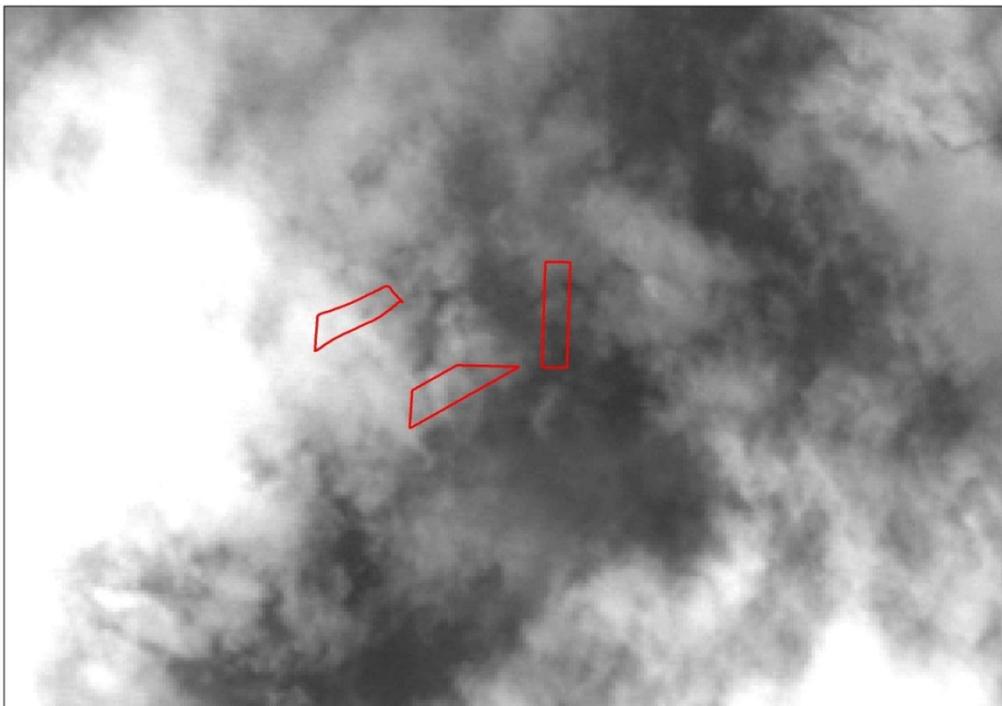


Figura 4: Parte das áreas analisadas (Complexo Capão da Cruz) sobre a banda 4 do sensor Landsat, evidenciando uma imagem classificada como Inutilizável

A partir desse critério, produziu-se a tabela 3, separando as imagens nessas duas classes:

Tabela 3: Discriminação entre imagens utilizáveis e inutilizáveis

Data Medição N-Sensor	Imagem LS mais próxima	Condição da Imagem
11/08/2009	12/08/2009	Utilizável
11/08/2009	12/08/2009	Utilizável
18/08/2009	12/08/2009	Utilizável
31/08/2009	28/08/2009	Utilizável
29/09/2009	29/09/2009	Inutilizável
05/10/2009	15/10/2009	Inutilizável
05/10/2009	15/10/2009	Inutilizável
13/10/2009	15/10/2009	Inutilizável
21/10/2009	15/10/2009	Inutilizável
03/11/2009	31/10/2009	Utilizável
03/11/2009	31/10/2009	Utilizável
03/11/2009	31/10/2009	Utilizável
25/11/2009	16/11/2009	Inutilizável
25/11/2009	16/11/2009	Inutilizável
30/11/2009	02/12/2009	Inutilizável
16/12/2009	18/12/2009	Inutilizável
16/12/2009	18/12/2009	Inutilizável
06/01/2010	19/01/2010	Inutilizável
06/01/2010	19/01/2010	Inutilizável
04/02/2010	04/02/2010	Utilizável
28/10/2010	19/11/2010	Utilizável
23/11/2010	19/11/2010	Utilizável
23/11/2010	19/11/2010	Utilizável
07/12/2010	05/12/2010	Utilizável
13/12/2010	05/12/2010	Utilizável
13/12/2010	05/12/2010	Utilizável
15/12/2010	21/12/2010	Utilizável
10/01/2011	06/01/2011	Inutilizável
10/01/2011	06/01/2011	Inutilizável
12/01/2011	06/01/2011	Inutilizável
12/01/2011	06/01/2011	Inutilizável
27/01/2011	22/01/2011	Utilizável

Desse modo, separou-se um total de 22 imagens possíveis de serem utilizadas nas comparações com o sensor proximal. Verifica-se que as condições atmosféricas são um fator limitante para a utilização de sistemas sensores orbitais, em especial durante as estações chuvosas, devido à presença constante de nuvens, justamente o momento em que a cultura apresenta maior desenvolvimento vegetativo.

Feita a triagem de todas as imagens utilizáveis, procedeu-se à calibração radiométrica de Chander, seguido pelo cálculo do NDVI. Realizou-se então a interpolação dos dados do sensor proximal para 900m² de pixel, sobrepondo às imagens orbitais. Os pares de mapas dos os Índices de Vegetação calculados para todas as situações possíveis encontram-se no Anexo 1.

De posse dos dados de IVs calculados para todas as áreas, separou-se os valores individuais de cada pixel para ambos os sistemas sensores, de modo a obter o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para cada área. A figura 4 ilustra exemplos gráficos de correlação, com os devidos valores de R, para algumas das áreas.

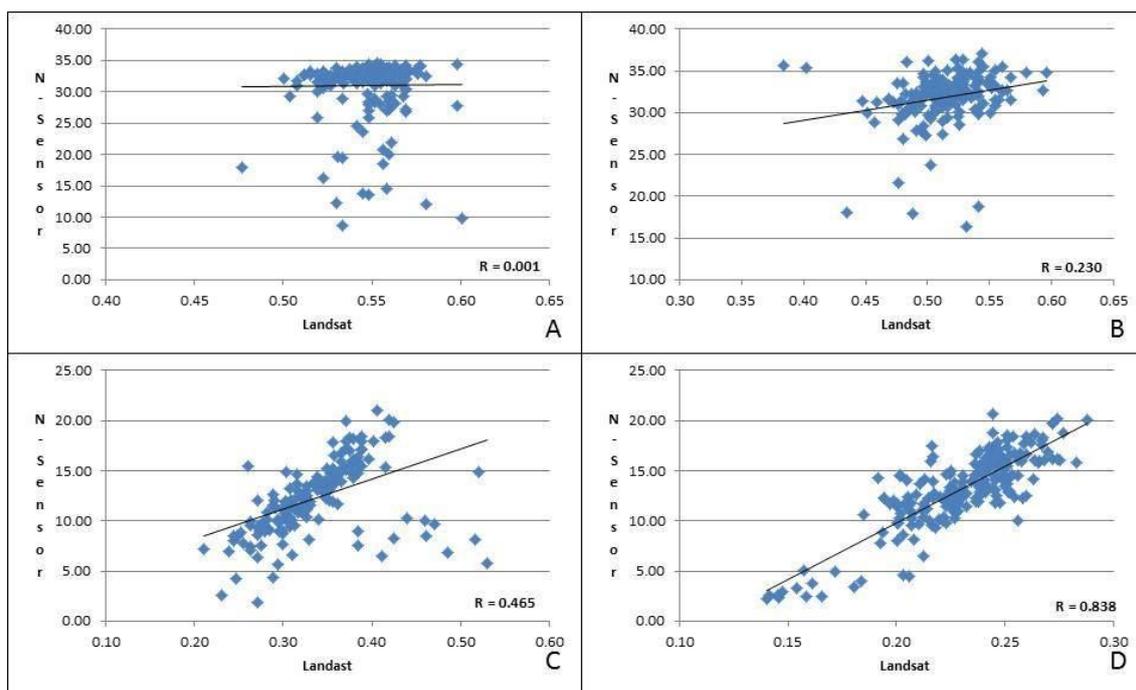


Figura 4: Gráficos de correlação linear de algumas das áreas analisadas. (A): Sta. Olívia, 0 dias de diferença entre leituras; (B): Pau d'Alho, 3 dias de diferença entre leituras; (C): C. Cruz 7288, 22 dias de diferença entre leituras; (D): C. Cruz 7286, 2 dias de diferença entre leituras.

Conforme observar-se nos gráficos, os valores de correlação não seguem uma sequência lógica, alternando valores muito baixos (A), médios (B e C) e elevados (D). Essa tendência pode ser observada na Tabela 4, que resume os valores de correlação individuais para cada área analisada:

Tabela 4: Índice de Correlação para todas as áreas analisadas

Área	Data Medição N-Sensor	Imagem LS mais próxima	Dias de Diferença	Condição da Imagem	Altura colmo (cm)	Pearson (R)
Pau d'Alho	11/08/09	12/08/09	-1	OK	20	0.372
Sta. Amelia	11/08/09	12/08/09	-1	OK	20	0.283
Sta. Margarida	18/08/09	12/08/09	6	OK	20	0.293
C. Cruz 7288	31/08/09	28/08/09	3	OK	20	0.062
Pau d'Alho	03/11/09	31/10/09	3	OK	60	0.230
Sta. Amelia	03/11/09	31/10/09	3	OK	60	0.510
C. Cruz 7288	03/11/09	31/10/09	3	OK	60	0.421
Sta. Olivia	04/02/10	04/02/10	0	OK	60	0.001
C. Cruz 7275	04/02/10	04/02/10	0	OK	60	0.068
C. Cruz 7286	04/02/10	04/02/10	0	OK	60	0.207
Rancho Alegre	04/02/10	04/02/10	0	OK	60	0.273
C. Cruz 7288	28/10/10	19/11/10	-22	OK	30	0.465
Pau d'Alho	23/11/10	19/11/10	4	OK	30	0.551
Sta. Amelia	23/11/10	19/11/10	4	OK	30	0.453
Sta. Margarida	07/12/10	05/12/10	2	OK	50	0.047
C. Cruz 7288	07/12/10	05/12/10	2	OK	50	0.548
C. Cruz 7275	07/12/10	05/12/10	2	OK	30	0.750
C. Cruz 7286	07/12/10	05/12/10	2	OK	30	0.838
Pau d'Alho	13/12/10	05/12/10	8	OK	50	0.335
Sta. Amelia	13/12/10	05/12/10	8	OK	50	0.315
Sta. Olivia	15/12/10	21/12/10	-6	OK	30	0.317
Rancho Alegre	27/01/11	22/01/11	5	OK	50	0.219

Conforme observa-se na tabela, na maioria dos casos é possível verificar alguma correlação entre os sistemas sensores, entretanto geralmente baixa. Porém, não foi detectado nenhum padrão lógico de distribuição entre os valores de correlação, tanto no que diz respeito à diferença de dias entre leituras quanto à altura da cana no momento das leituras.

A baixa correlação entre os sistemas pode ser explicada por um conjunto de fatores. O sensor proximal calcula seu IV a partir de bandas espectrais super estreitas e dedicadas, determinadas especialmente para esse fim, enquanto o sensor orbital possui bandas com faixas mais amplas, que abrangem uma região maior do espectro eletromagnético. Além disso, apesar de possuírem a mesma finalidade (estimativa de biomassa) os Índices de Vegetação comparados são diferentes, e calculados com diferentes metodologias. Por fim, o sensor orbital utilizado nesse trabalho é um sistema antigo, cujo projeto iniciou-se na década de 70, e portanto conta com algumas limitações frente a tecnologias mais recentes. A principal dessas limitações é o tamanho do pixel do sensor (900m²), que acaba por generalizar bastante a informação

obtida, principalmente na escala de talhão, enquanto o sensor proximal trabalha com alta resolução.

Apesar desses empecilhos, e mesmo com a baixa correlação direta entre os sistemas, a visualização dos mapas de Índice de Vegetação permite ao observador distinguir áreas com maior ou menor acúmulo de biomassa, em ambos os sistemas sensores, em grande parte dos casos (Anexo 1). Essa constatação mostra que embora conte com alguns limitantes, é possível extrair informações sobre a biomassa de uma lavoura de cana-de-açúcar a partir de imagens orbitais. Essa informação, entretanto, deve ser utilizada com cautela, uma vez que o grau de resolução disponibilizado pelo sensor orbital não parece ser adequado ao nível de talhão.

5. Conclusão

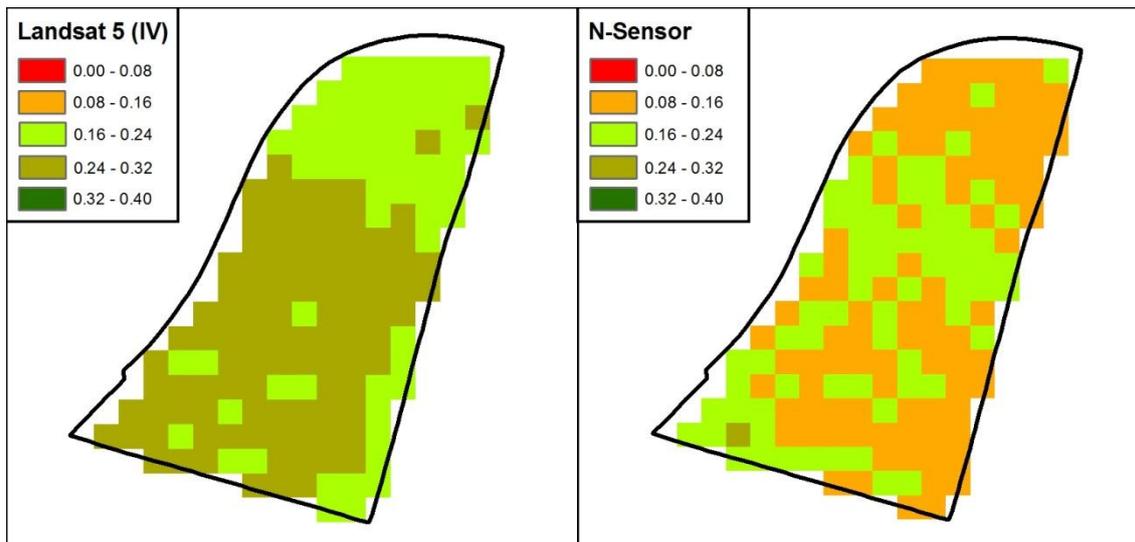
Foi possível gerar mapas de Índices de Vegetação e observar áreas de alta e baixa biomassa nos dois sistemas analisados nesse trabalho. Entretanto, a comparação direta entre os sensores orbital e proximal apresentou uma baixa correlação entre os sistemas. A utilização de imagens orbitais de sensores baixa resolução espacial para fins de estimativa de biomassa é possível, porém não precisa e deve ser encarada com muita cautela, principalmente a nível de talhão. As condições atmosféricas são limitantes ao uso de imagens orbitais, e devem ser levadas em consideração ao se fazer um planejamento que conte com esse recurso.

Mais estudos semelhantes precisam ser realizados visando maior conhecimento do tema, em especial com uso de satélites mais modernos que tenham maior resolução espacial e temporal de suas imagens, assim como resolução espectral, principalmente na faixa denominada de “red edge” que apresenta ótima relação com nitrogênio contido na planta.

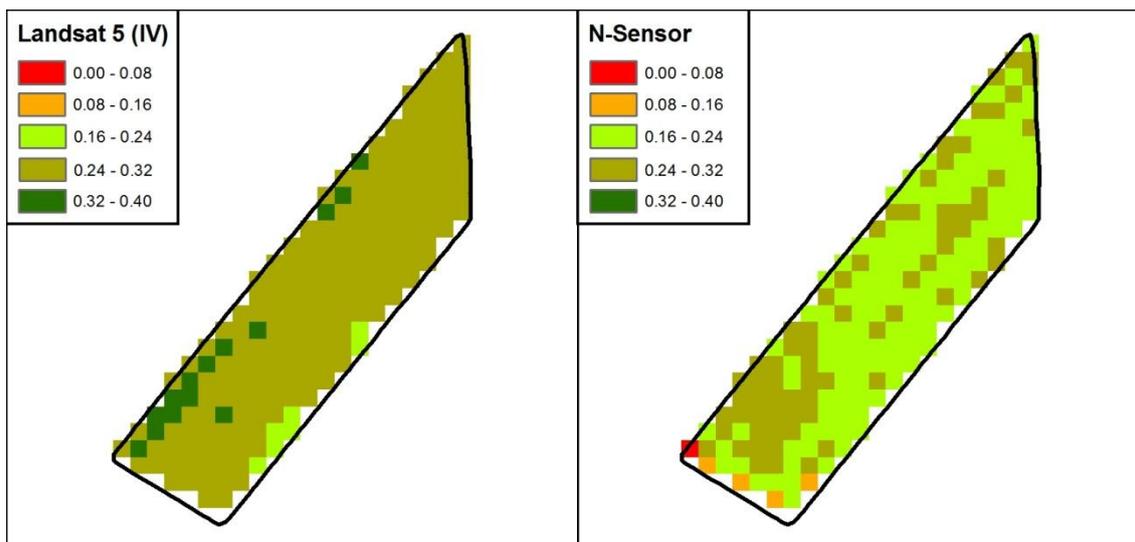
Referências Bibliográficas

- Barbetta, P.A.; Reis, M.M.; Bornia, A.C. **Estatística para cursos de engenharia e informática**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2004. 410p.
- Beltrame, A. M. K. Mapeamento da cobertura do solo ao longo da faixa de domínio de trem metropolitano: Linha F em São Paulo. **Dissertação de Mestrado** – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 104p, 2008.
- Bragagnolo, J. Adubação nitrogenada à taxa variada com o N-Sensor nas culturas do milho e trigo. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 110p, 2010.
- Chander, G.; Markhan, B. L.; Barsi, J. A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n.3, p. 490-494, 2007.
- Frasson, F. R.; Molin, J. P.; Salvi, J. V.; Povh, F. P.; Garcia, M. A. L. Utilização de sensor ótico ativo no diagnóstico de falhas de plantio em cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.26, n.2, p.34-37, 2007.
- Molin, J. P. **Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, São Paulo, o autor, 83p, 2003.
- Kazmier, L.J. **Estatística aplicada à administração e economia**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 392p.
- Motomiya, A. V. A.; Molin, J. P.; Chiavegato, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.137-145, 2009.
- Povh, F. P.; Molin, J. P.; Gimenez, L. M.; Paulletti, V.; Molin, R.; Salvi, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1075-1083, 2008.
- Raij, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres. 343p, 1991.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTs. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings ...** Washington, DC: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

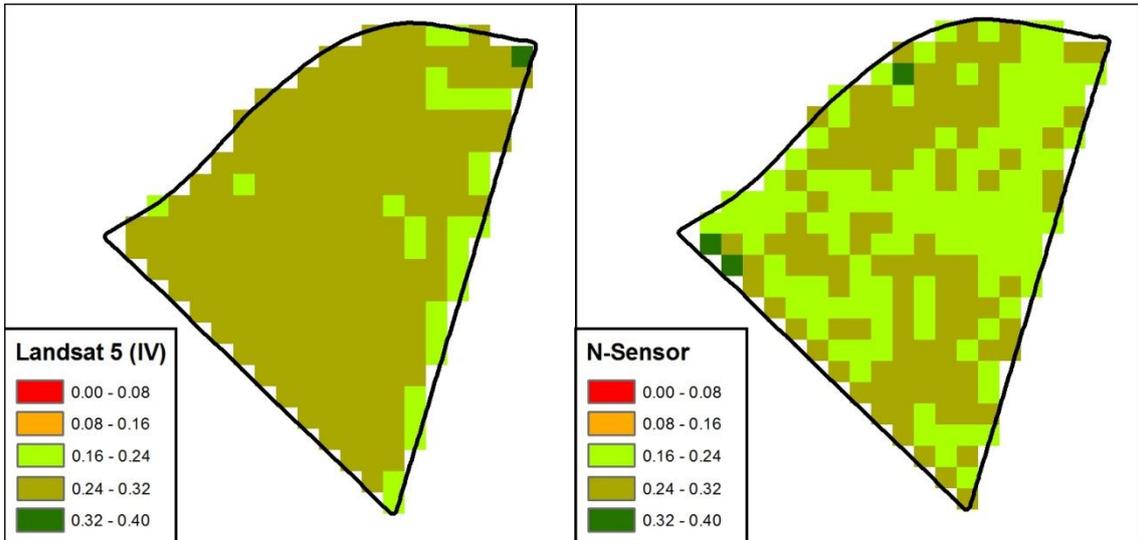
Anexo 1: Mapas de Índices de Vegetação para as áreas analisadas



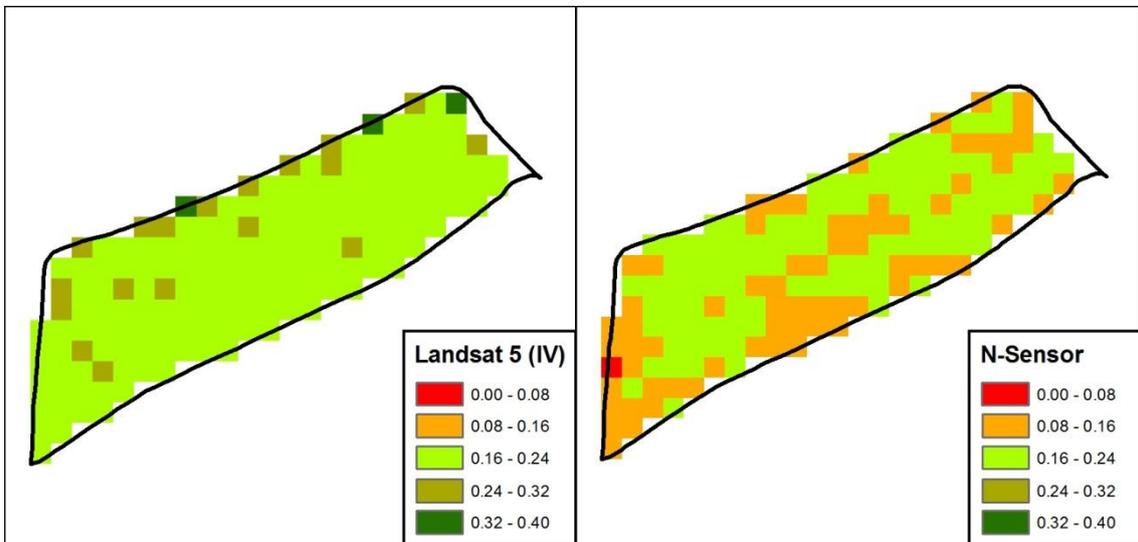
Área: Pau d'Alho; Data Leitura N-Sensor: 11/08/09, Data Passagem Landsat: 12/08/09; Dias de diferença entre leituras: 1; Altura da cana: 20 cm; Correlação (R): 0,372



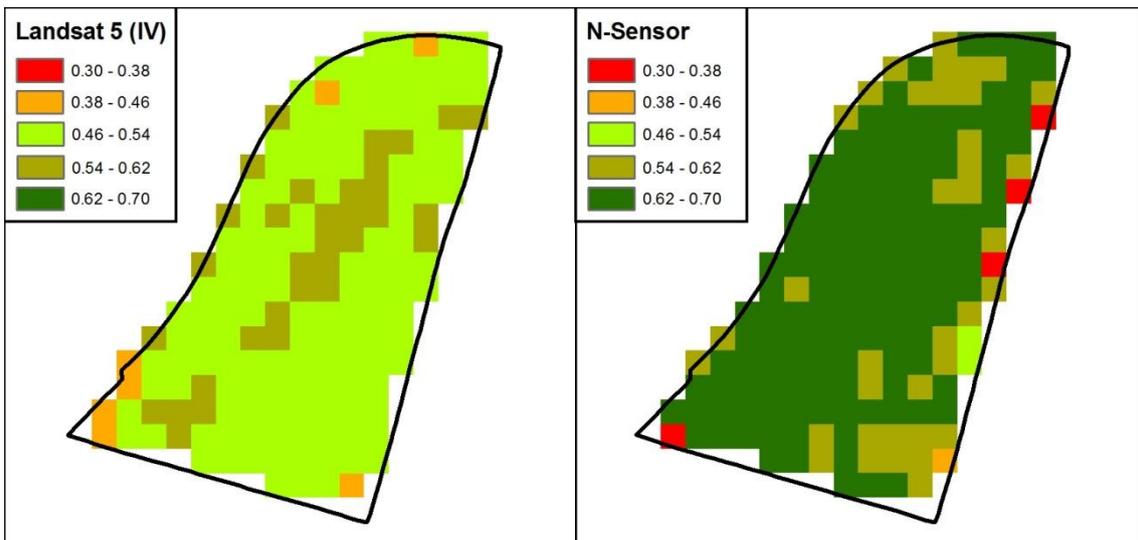
Área: Sta. Amelia; Data Leitura N-Sensor: 11/08/09, Data Passagem Landsat: 12/08/09; Dias de diferença entre leituras: 1; Altura da cana: 20 cm; Correlação (R): 0,283



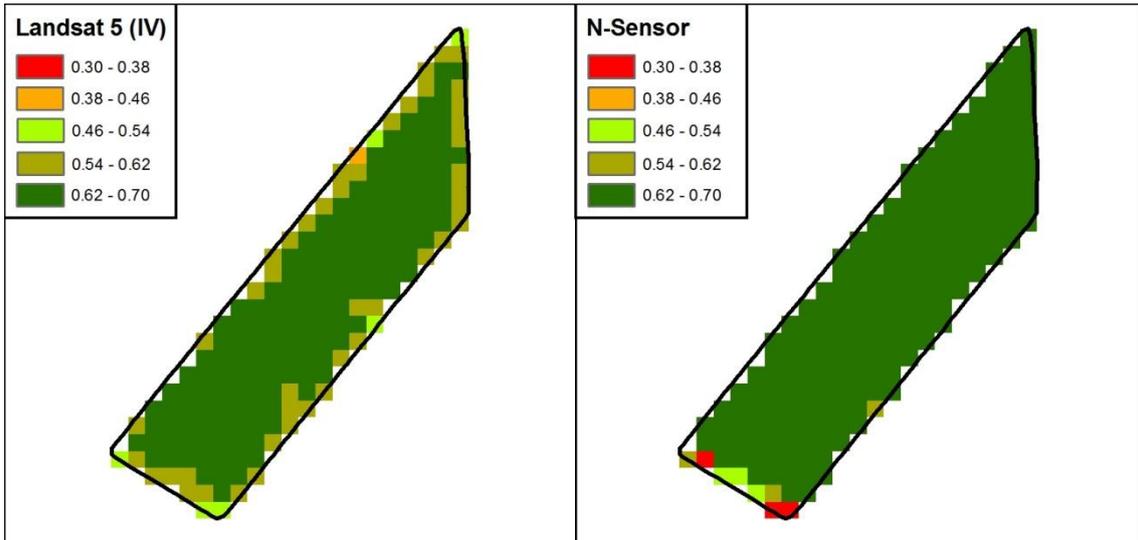
Área: Sta. Margarida; Data Leitura N-Sensor: 18/08/09, Data Passagem Landsat: 12/08/09; Dias de diferença entre leituras: 6; Altura da cana: 20 cm; Correlação (R): 0,293



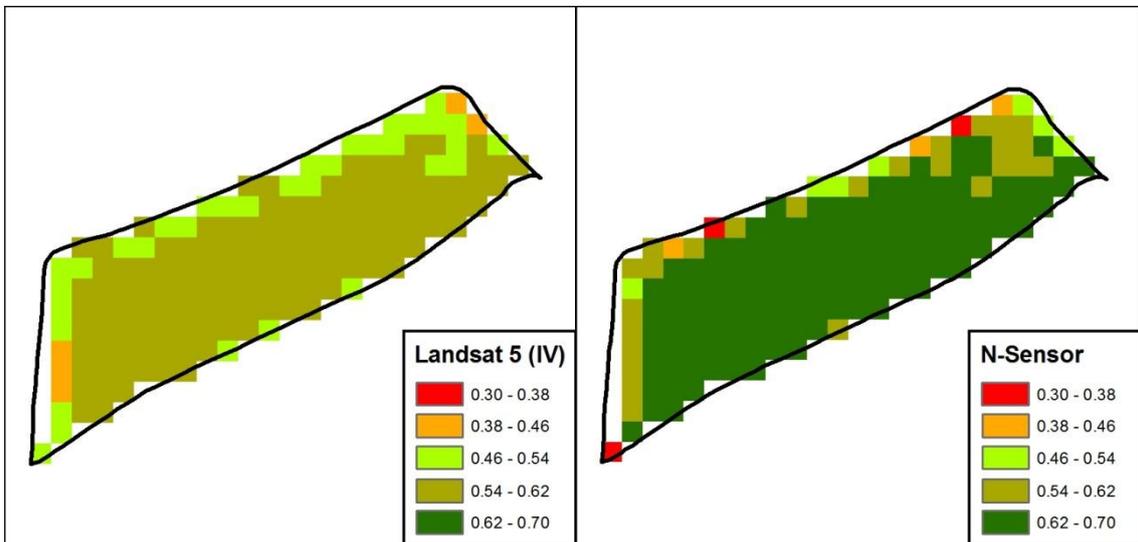
Área: C. Cruz 7288; Data Leitura N-Sensor: 31/08/09, Data Passagem Landsat: 28/08/09; Dias de diferença entre leituras: 3; Altura da cana: 20 cm; Correlação (R): 0,062



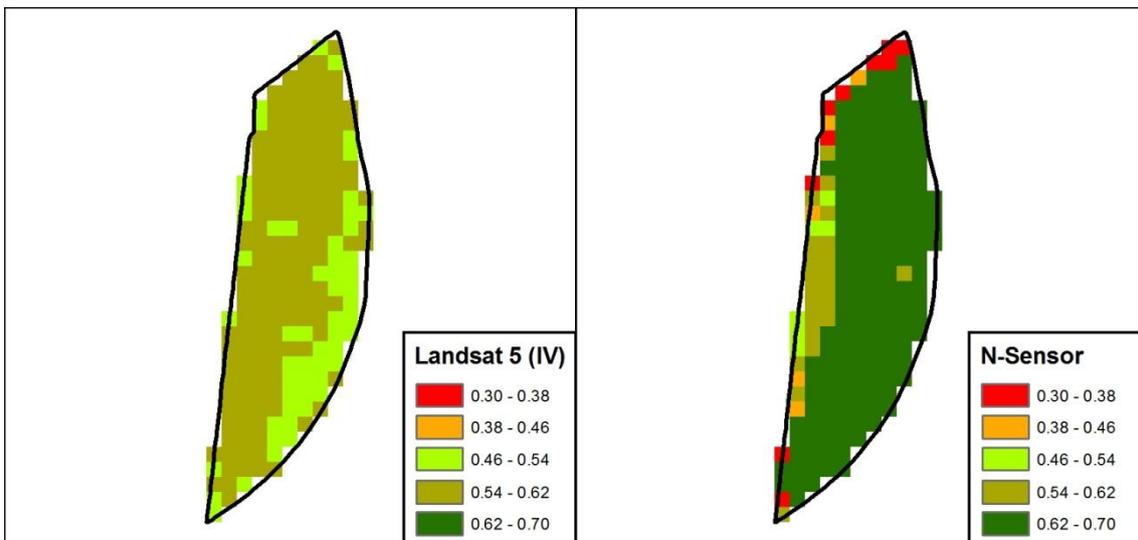
Área: Pau d'Alho; Data Leitura N-Sensor: 03/11/09, Data Passagem Landsat: 31/10/09; Dias de diferença entre leituras: 3; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,230



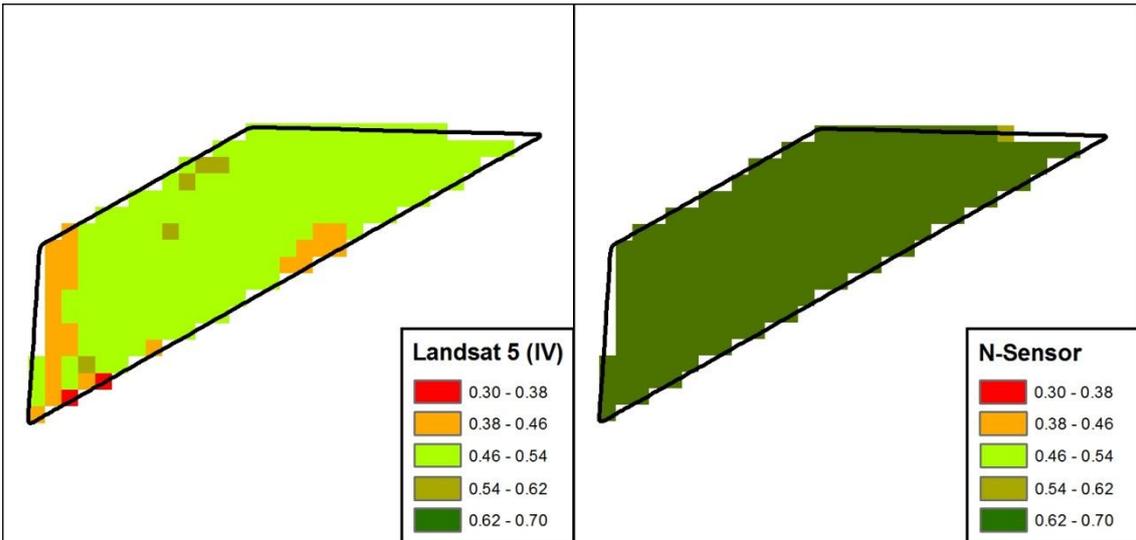
Área: Sta. Amélia; Data Leitura N-Sensor: 03/11/09, Data Passagem Landsat: 31/10/09; Dias de diferença entre leituras: 3; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,510



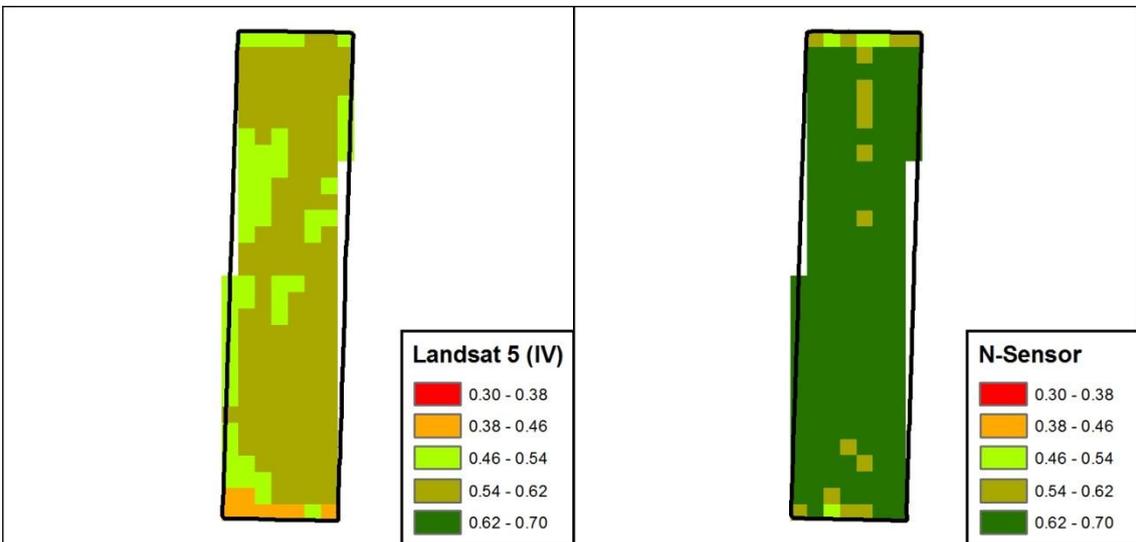
Área: C. Cruz 7288; Data Leitura N-Sensor: 03/11/09, Data Passagem Landsat: 31/10/09; Dias de diferença entre leituras: 3; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,421



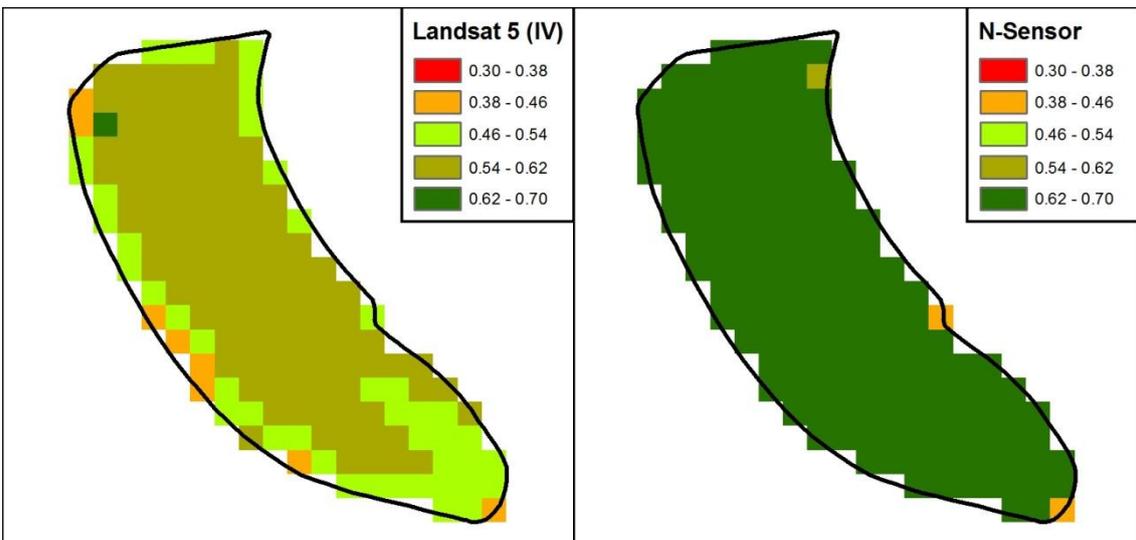
Área: Sta. Olívia; Data Leitura N-Sensor: 04/02/10, Data Passagem Landsat: 04/02/10; Dias de diferença entre leituras: 0; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,001



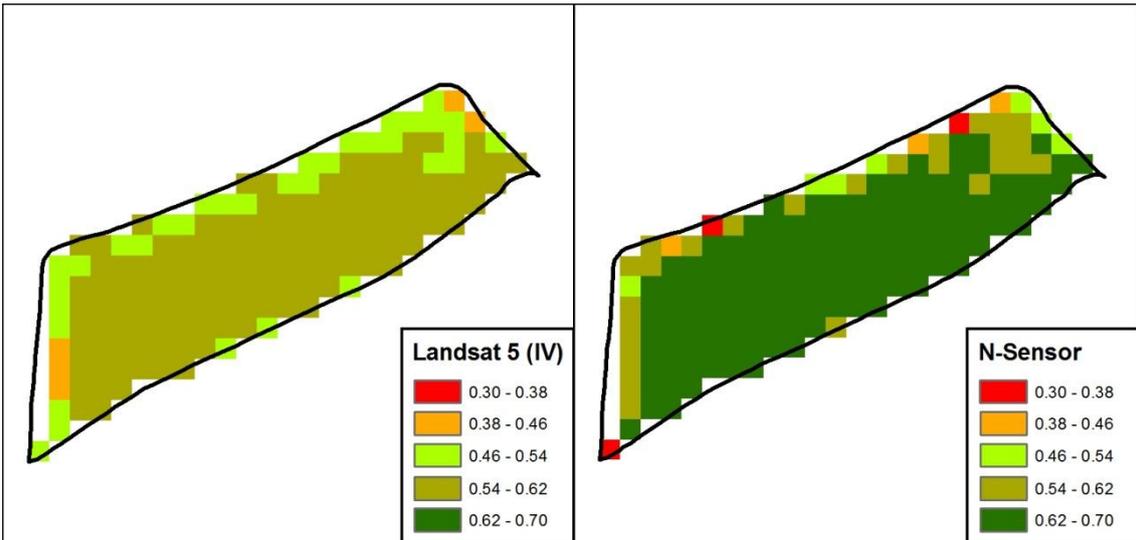
Área: C. Cruz 7275; Data Leitura N-Sensor: 04/02/10, Data Passagem Landsat: 04/02/10; Dias de diferença entre leituras: 0; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,068



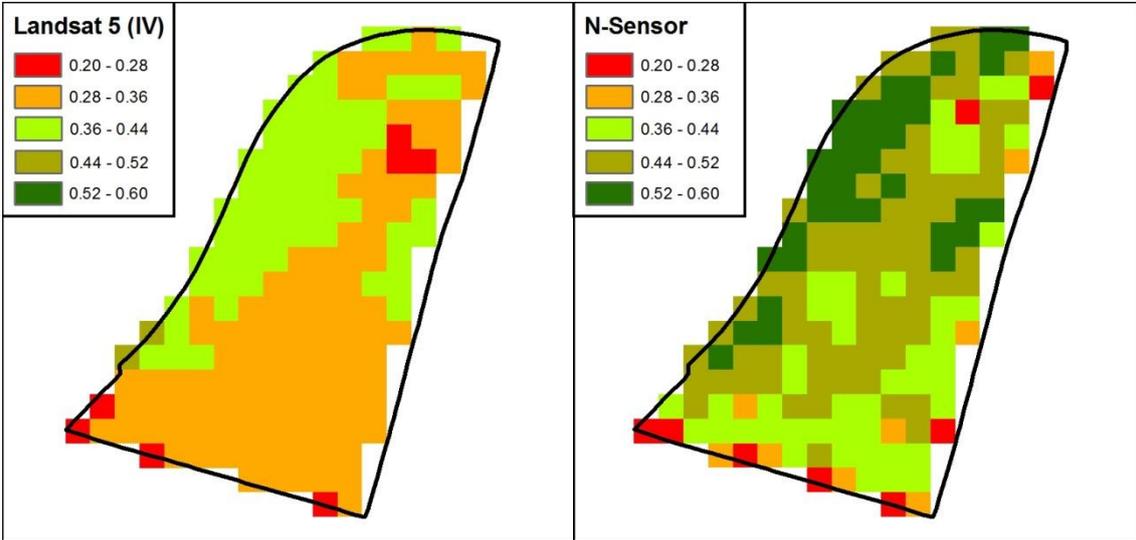
Área: C. Cruz 7286; Data Leitura N-Sensor: 04/02/10, Data Passagem Landsat: 04/02/10; Dias de diferença entre leituras: 0; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,207



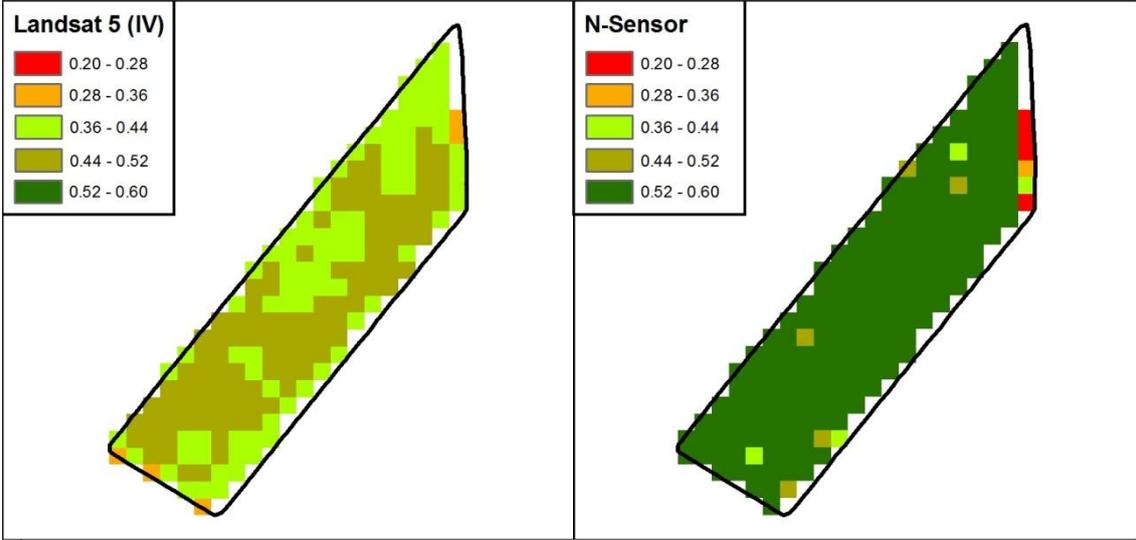
Área: Rancho Alegre; Data Leitura N-Sensor: 04/02/10, Data Passagem Landsat: 04/02/10; Dias de diferença entre leituras: 0; Altura da cana: 60 cm; Correlação (R): 0,273



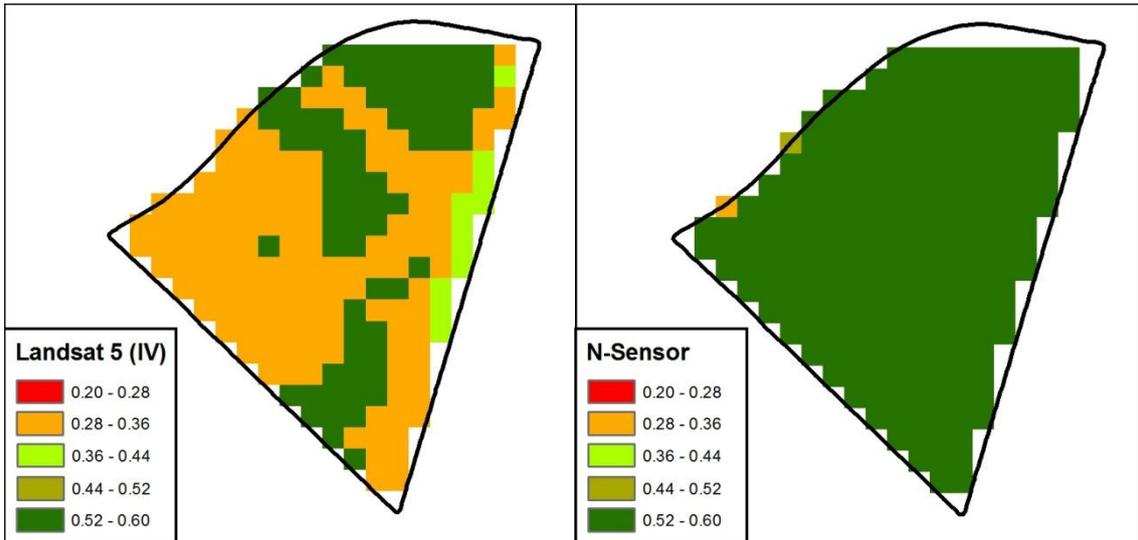
Área: C. Cruz 7288; Data Leitura N-Sensor: 28/10/10, Data Passagem Landsat: 19/11/10; Dias de diferença entre leituras: 22; Altura da cana: 30 cm; Correlação (R): 0,465



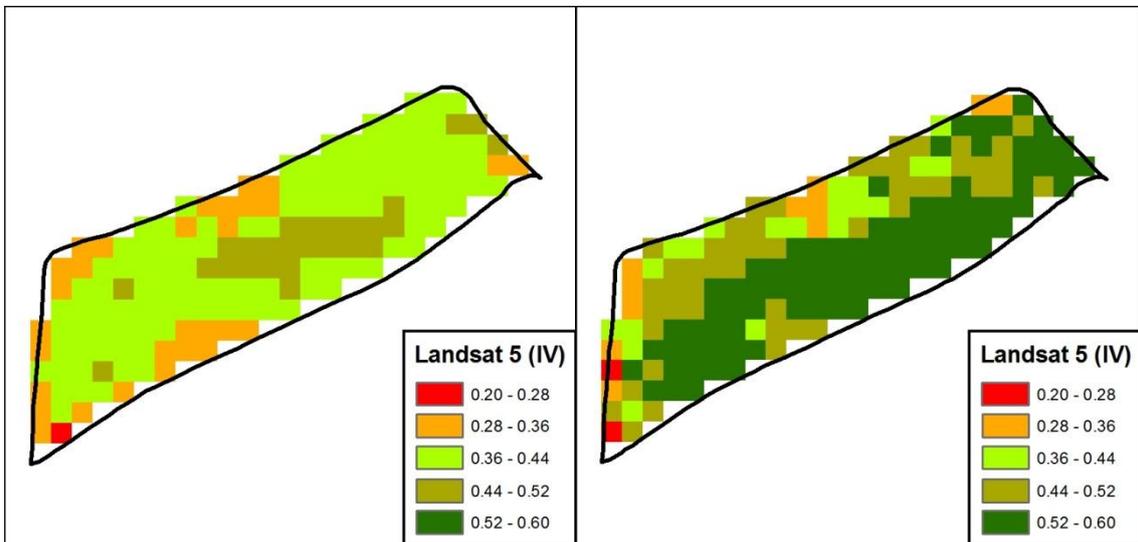
Área: Pau d'Alho; Data Leitura N-Sensor: 23/11/10, Data Passagem Landsat: 19/11/10; Dias de diferença entre leituras: 4; Altura da cana: 30 cm; Correlação (R): 0,551



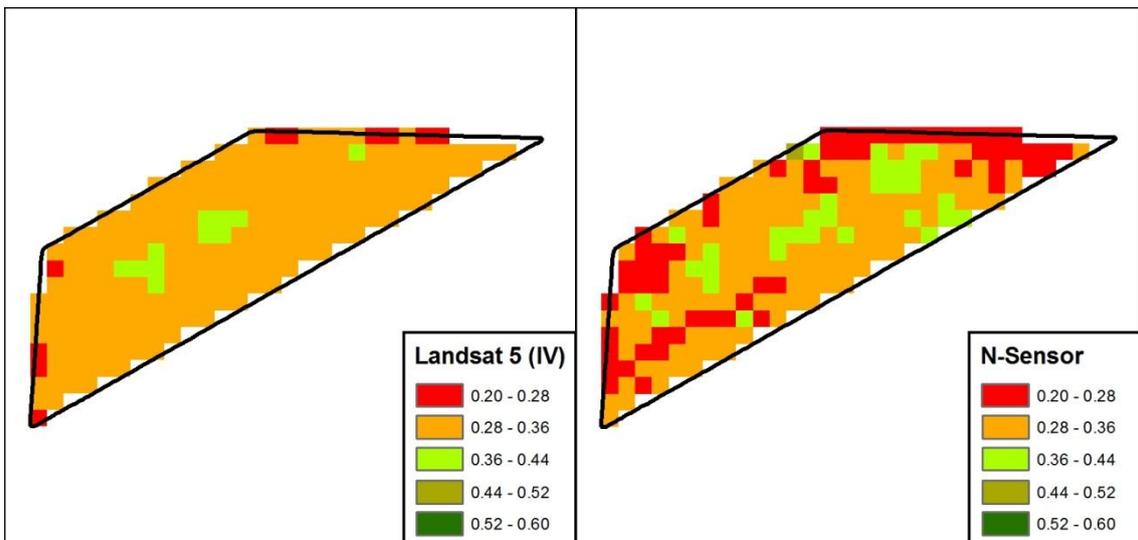
Área: Sta. Amélia; Data Leitura N-Sensor: 23/11/10, Data Passagem Landsat: 19/11/10; Dias de diferença entre leituras: 4; Altura da cana: 30 cm; Correlação (R): 0,453



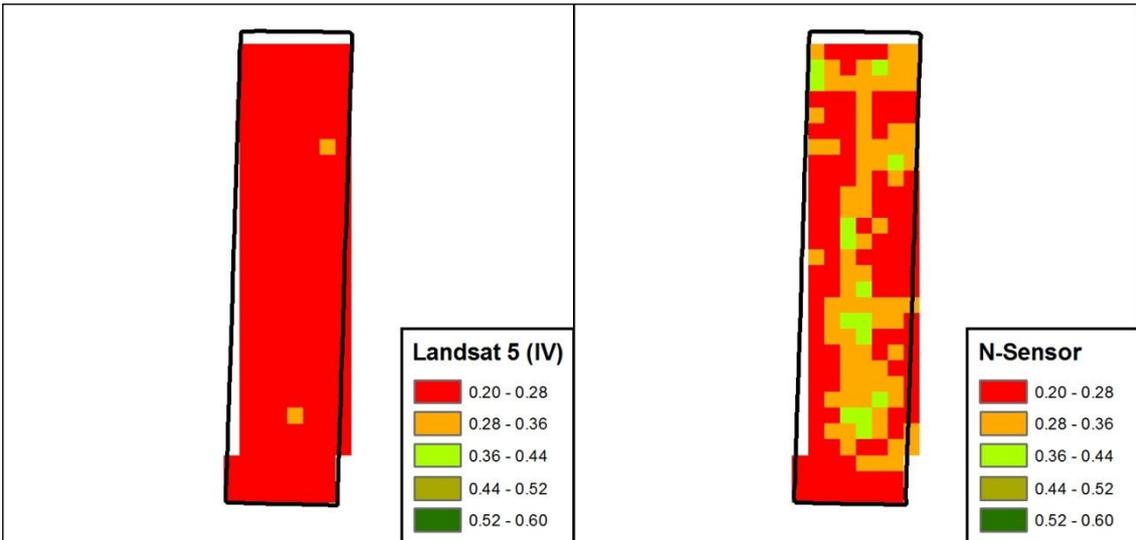
Área: Sta. Margarida; Data Leitura N-Sensor: 07/12/10, Data Passagem Landsat: 05/12/10; Dias de diferença entre leituras: 2; Altura da cana: 50 cm; Correlação (R): 0,047



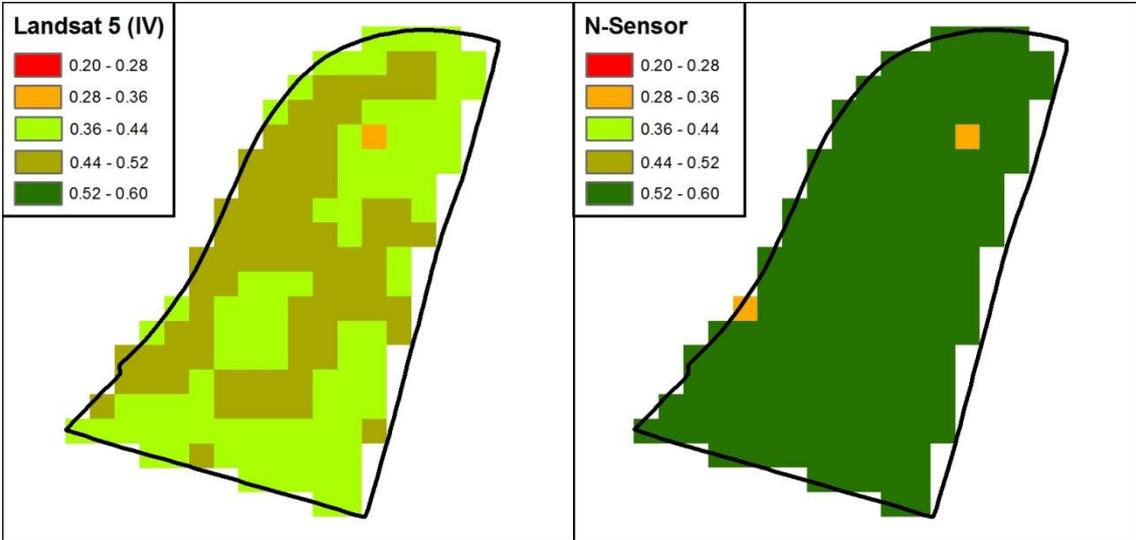
Área: C. Cruz 7288; Data Leitura N-Sensor: 07/12/10, Data Passagem Landsat: 05/12/10; Dias de diferença entre leituras: 2; Altura da cana: 50 cm; Correlação (R): 0,548



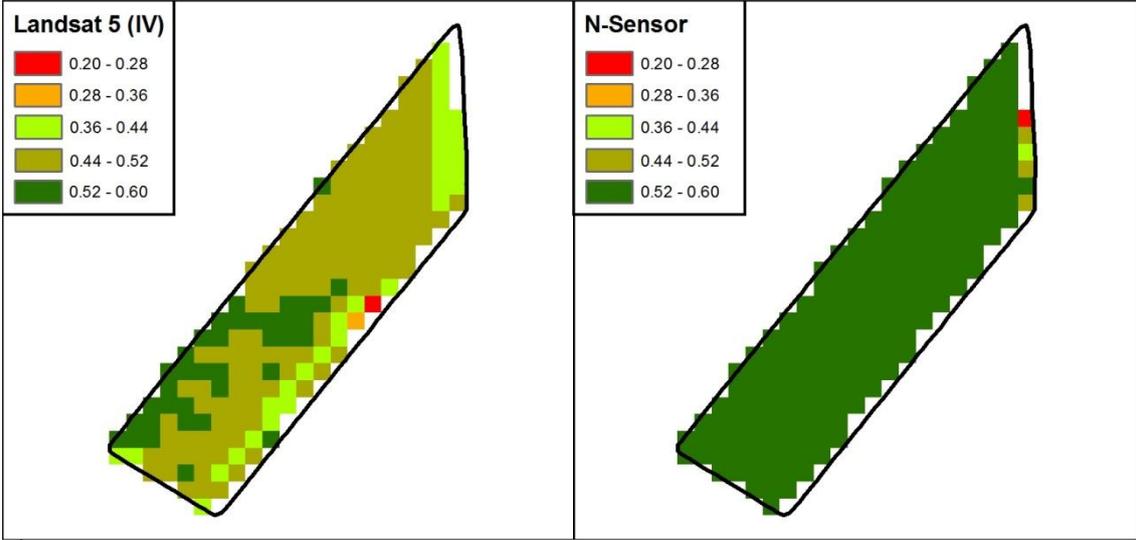
Área: C. Cruz 7275; Data Leitura N-Sensor: 07/12/10, Data Passagem Landsat: 05/12/10; Dias de diferença entre leituras: 2; Altura da cana: 30 cm; Correlação (R): 0,750



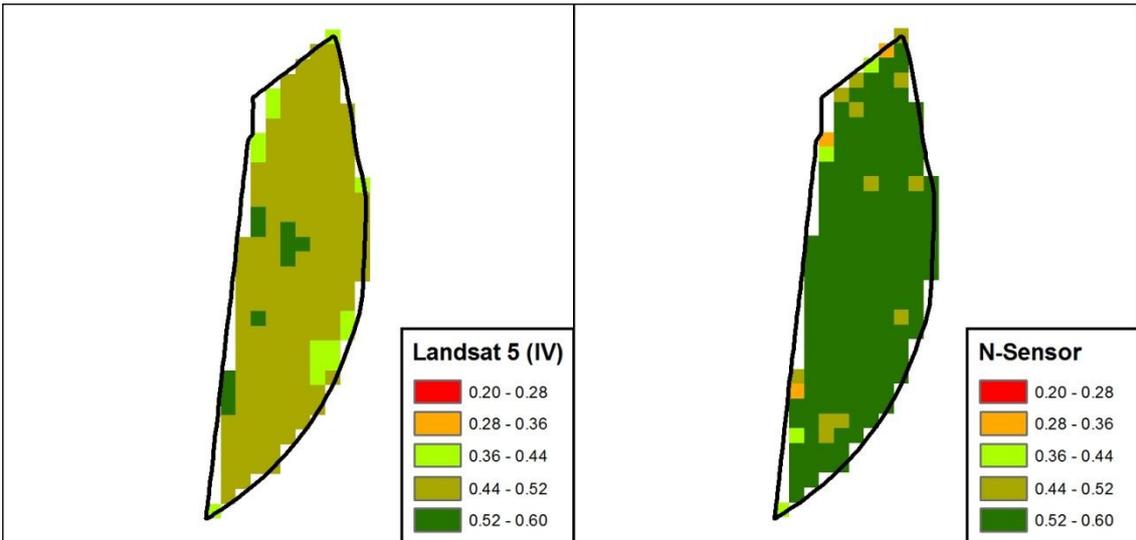
Área: C. Cruz 7286; Data Leitura N-Sensor: 07/12/10, Data Passagem Landsat: 05/12/10; Dias de diferença entre leituras: 2; Altura da cana: 30 cm; Correlação (R): 0,838



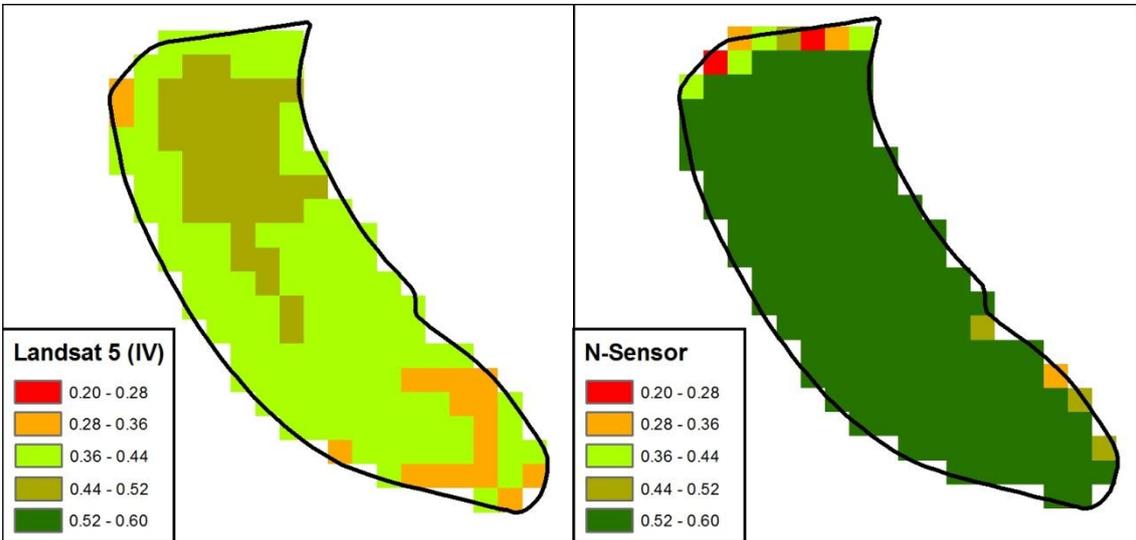
Área: Pau d'Alho; Data Leitura N-Sensor: 13/12/10, Data Passagem Landsat: 05/12/10; Dias de diferença entre leituras: 8; Altura da cana: 50 cm; Correlação (R): 0,335



Área: Sta. Amélia; Data Leitura N-Sensor: 13/12/10, Data Passagem Landsat: 05/12/10; Dias de diferença entre leituras: 8; Altura da cana: 50 cm; Correlação (R): 0,315



Área: Sta. Olívia; Data Leitura N-Sensor: 15/12/10, Data Passagem Landsat: 21/12/10; Dias de diferença entre leituras: 6; Altura da cana: 30 cm; Correlação (R): 0,317



Área: Rancho Alegre; Data Leitura N-Sensor: 27/01/11, Data Passagem Landsat: 22/01/11; Dias de diferença entre leituras: 5; Altura da cana: 50 cm; Correlação (R): 0,219