



ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE

Ziany Neiva Brandão¹; Valdinei Sofiatti²; José Renato Cortez Bezerra³; Gilvan Barbosa Ferreira⁴

1 Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/ CNPA
Caixa Postal 171 - Rua Oswaldo Cruz, 1143 – 58.428-095 – Campina Grande - PB, Brasil
ziany@cnpa.embrapa.br; ²vsofiatti@cnpa.embrapa.br; ³renato@cnpa.embrapa.br; ⁴gilvan.ferreira@cnpa.embrapa.br

RESUMO: A recomendação da adubação nitrogenada e a estimativa de produtividade do algodoeiro são práticas complexas para serem realizadas em grandes áreas cultivadas. Nesse sentido, técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas como alternativa para viabilizar a determinação de importantes informações agrônômicas. Assim, o trabalho teve por objetivo a avaliação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NVDI) e do Índice de Área Foliar (IAF), obtidos através de imagens do sensor TM do satélite Landsat – 5, na estimativa dos teores foliares de N e da produtividade. O presente estudo foi realizado no algodoeiro irrigado por sistema de pivô central, de janeiro a julho de 2007, em plantio comercial no estado da Bahia.. A área experimental constituiu-se de quatro pivôs, em média com 97 ha de área, totalizando 388 ha. Aos 100 DAE, foi realizada a amostragem foliar do algodoeiro para realização de análise e por ocasião da colheita determinou-se a produtividade de algodão em caroço. O NVDI e o IAF foram obtidos após tratamento das imagens, que foram adquiridas em cinco diferentes estádios fenológicos da cultura. Os resultados mostraram que é possível estimar tanto os teores foliares de N quanto a produtividade do algodoeiro utilizando o Índice de Área foliar (IAF) obtido através de técnicas de sensoriamento remoto, podendo auxiliar na decisão da adubação nitrogenada da cultura.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*, sensoriamento remoto, IAF.

INTRODUÇÃO

O algodoeiro é uma planta de crescimento inicial lento, que passa a desenvolver-se rapidamente a partir dos 25 a 30 dias após a emergência (DAE) (CARVALHO et al., 2007), período que coincide com o surgimento dos primeiros botões florais. Cerca de 90% da maioria dos nutrientes são absorvidos após esse período. Segundo Rosolem (2007), a marcha de absorção dos nutrientes pelo algodoeiro segue o padrão de crescimento, aumentando consideravelmente a partir dos 30 dias da sementeira, coincidindo com a emissão dos primeiros botões florais, e alcançando uma absorção máxima diária na fase de florescimento entre 60 e 90 dias após a germinação, dependendo da cultivar. Nesse período a taxa de absorção de nitrogênio é de cerca de 2,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N, ocorrendo por ocasião do início do enchimento dos frutos.

Devido à alta exigência do algodoeiro em nitrogênio, a recomendação e adubação para esse nutriente é uma das mais importantes práticas em sistemas de alta produtividade, pois tanto a deficiência como o excesso de N influenciam negativamente o crescimento da planta, a retenção de frutos, a qualidade da fibra e a produtividade (REDDY et al., 2004). O fornecimento insuficiente de N pode resultar em redução da área foliar e conseqüentemente em menor capacidade fotossintética, resultando em fibra de baixa qualidade e menor produtividade da cultura (BRANDÃO, 2009).

Entretanto, a adubação nitrogenada em grandes áreas é uma atividade complexa, trabalhosa e onerosa. O envio de tecido foliar aos laboratórios na maioria das vezes inviabiliza o uso das informações para suplementação da adubação dentro da mesma safra, devido aos constantes atrasos na recepção dos resultados laboratoriais. Dessa forma, técnicas de avaliação do estado nutricional das plantas quanto ao teor de nitrogênio que dispensem as análises convencionais vêm se tornando cada vez mais divulgadas nos meios de pesquisa e de produção. Para avaliação das condições da cobertura vegetada e estimativa da produtividade, muitos pesquisadores utilizam o Índice de Área Foliar (IAF), especialmente devido ao fato deste estar bem correlacionado ao status do nitrogênio foliar e conteúdo de clorofila (ZHAO et al., 2005). Segundo Maity et al. (2004), o IAF para algodão depende da umidade do solo e da altura da planta, tendo ele criado dois índices de sensibilidade, um para o nível de umidade do solo e outro para a altura da planta para grandes áreas vegetadas a partir de imagens de satélite (MAITY et al., 2004; LUQUET et al., 2003).

Por outro lado, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)) é um indicador da quantidade e condição da vegetação verde, representando o vigor da cultura, sendo obtido através de combinações da refletância medidas nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Na faixa do visível há grande absorção da radiação incidente pelas clorofilas das plantas, enquanto que no infravermelho próximo há grande refletância do mesófilo das folhas. O contraste entre as duas faixas de comprimento ressalta a vegetação, permitindo uma clara identificação desta e das suas propriedades fotossintéticas. Esse índice vem sendo largamente utilizado para identificação de áreas degradadas, caracterização de culturas, estimativa da biomassa e previsão de safras (MKHABELA et al., 2011, PICOLI et al., 2009). Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o NDVI e o IAF obtido através de imagens do sensor TM do satélite Landsat-5 na estimativa dos teores foliares de N e da produtividade do algodoeiro irrigado em plantio comercial no cerrado baiano.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no primeiro semestre de 2007 na Fazenda Busato, localizada no município de Bom Jesus da Lapa, BA, cujas coordenadas centrais são 13°15'18" S, 43°25'05" W. A área de estudo compreendeu quatro pivôs em plantio comercial, numerados de acordo com a Figura 1(a.1).

Os solos da região são predominantemente Latossolos vermelho-amarelo eutróficos. A altitude média na Fazenda é de 436m. O clima da região é caracterizado como quente, subúmido e semiárido, com período seco bem definido no inverno, chuvas de verão e predominância do tipo **BSw'h'**, da classificação climática de Köppen. Os resultados da análise química do solo antes da correção e instalação do experimento mostraram os seguintes valores: pH 5,9 a 6,4; M.O. 12 a 24 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) 35,3 a 100,0 mg dm⁻³; K 49 a 233 mg dm⁻³; Ca 1,8 a 4,6 cmolc dm⁻³; Mg 0,5 a 1,3 cmolc dm⁻³; H⁺+Al³⁺ 0,8 a 3,1 cmolc dm⁻³ e CTC 3,2 a 9,6 cmolc dm⁻³, sendo os Pivôs 1 e 2 os de menor fertilidade. A Figura 1 apresenta imagens em cinco diferentes épocas durante o ciclo do algodoeiro em 2007, numa combinação RGB dos canais 5, 4 e 3 do TM Landsat-5, e também as cartas do índice de área foliar (IAF) para cada imagem. Os pivôs selecionados para estudo encontram-se destacados e foram denominados de P1, P2, P3 e P4.

A adubação nitrogenada foi realizada em três épocas, aplicando-se 20 kg ha⁻¹ na semeadura, 40 kg ha⁻¹ aos 25 DAE e 70 kg ha⁻¹ aos 75 DAE. No período de maior cobertura vegetada, aproximadamente aos 100 DAE, foi realizada a amostragem foliar do algodoeiro para determinação dos teores de N, com a coleta de 20 folhas/área, sendo três áreas escolhidas no setor norte e três no setor sul de cada pivô, tendo sido colhida a folha da 5ª posição do caule principal, contada a partir do ápice (CARVALHO et al., 2007). As áreas foram escolhidas de modo a evitar o efeito de bordadura ou de centro do pivô.

A semeadura do algodão, cultivar Delta Opal, ocorreu de 21 a 24 de janeiro e a colheita foi realizada em julho de 2007. As imagens de satélite utilizadas foram geradas pelo Mapeador Temático do Landsat-5, órbita 219 e ponto 69, próximo as 10h, nas seguintes datas: 25/03/2007, 26/04/2007, 12/05/07, 28/05/07 e 13/06/07, conforme apresentado na Figura 1. Cada imagem representa uma fase fenológica distinta do algodoeiro, com a primeira registrando o início da floração e a última a frutificação completa, onde os dois primeiros capulhos já se encontravam abertos em pelo menos 80% das plantas.

Após calibração radiométrica das imagens (ALLEN et al., 2002), foi feita a correção do georreferenciamento e posteriormente avaliada a precisão dos pontos marcados com o GPS Garmim 76CSx dentro dos pivôs. Foram então determinadas as refletâncias nas regiões do visível e infravermelho próximo, correspondentes respectivamente aos canais 3 e 4 do TM Landsat-5, que serviram para determinação do Índice de Área Foliar e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), sendo dados por:

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (1)$$

Em que:

ρ_4 é a refletância do canal do Landsat correspondente ao infravermelho próximo (0,78-0,90 μm)

ρ_3 é a refletância do canal na região do visível (0,63-0,69 μm)

O IAF foi obtido com base no Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI), cuja equação empírica é dada por (ALLEN et al., 2002):

$$IAF = -\ln\left(\frac{(0,69 - SAVI)}{0,59}\right) / (0,91) \quad (2)$$

E o SAVI é dado por:

$$SAVI = \left[\frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3 + L)} \right] \quad (3)$$

Em que:

L é função da densidade da vegetação e seus valores variam entre 0 a 1 para coberturas de alta e baixa densidade, respectivamente (ALLEN et al., 2002), tendo sido usado os valores de 0,6 a 0,4 nesse trabalho.

Das cartas do NDVI e do IAF para as diversas datas foram extraídos os valores médios dos pixels por pivô estudado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de correlação e regressão polinomial para avaliação da capacidade preditiva desses índices nos teores foliares de N e na produtividade do algodoeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 são apresentadas as imagens obtidas para o NDVI, nas cinco datas de avaliação, onde se pode observar o aumento da densidade da vegetação através do incremento do NDVI, até a Figura 2c. As imagens das Figuras 2d e 2e apresentam a redução da biomassa da cultura com o início da senescência.

A resposta espectral do algodoeiro acompanhou a elevação dos teores foliares de N. Na Figura 3a observa-se o aumento do NDVI na época de florescimento pleno, correspondente a imagem de 12/05/07. O NDVI variou de 0,69 a 0,81 quando os teores foliares apresentaram-se entre 36,40 e 41,20 g kg⁻¹ nos quatro pivôs estudados, observando-se resposta polinomial quadrática, com coeficiente de determinação 0,77. Esse índice, usado para avaliação do vigor das culturas, mostrou-se adequado para estimativa dos teores foliares do algodoeiro em florescimento pleno com índice de correlação de Pearson de 0,87 e significância a 1% pelo teste t. Esse efeito também foi observado por Brandão (2009) num estudo de avaliação do crescimento do algodoeiro irrigado no semiárido, onde obteve uma correlação de 0,88 no período de máximo NDVI.

Foi observado também que o NDVI possui uma alta correlação com o IAF em todos os estádios fenológicos do algodoeiro, conforme apresentado na Figura 3b, para todas as épocas estudadas nos quatro pivôs. O IAF é um índice comumente utilizado na avaliação do crescimento das plantas, pois o aumento na área foliar oferece elevação na capacidade fotossintética das plantas.

A estimativa da produtividade pode ser obtida com os dados de campo através da análise nutricional da cultura, conforme observado na Figura 4a, onde o aumento dos teores foliares de N avaliados no período de máximo florescimento do algodoeiro foi acompanhado pelo incremento na produtividade, com R² de 0,94 e correlação de 0,94, com significância a 1% pelo teste t.

Para grandes áreas, a coleta de amostras em campo pode ser uma tarefa demorada e cara, em que o auxílio de ferramentas de sensoriamento remoto fornece facilidade e boa precisão

Na Figura 4b a produtividade pode ser estimada através do IAF obtido por imagens de satélite no período de florescimento pleno do algodoeiro, onde foi observado que a produtividade estimada cresceu linearmente em resposta a elevação do IAF, apresentando coeficiente de determinação de 0,97 e coeficiente de correlação de Pearson de 0,98. Ainda na Figura 3(b), os pivôs com menor produtividade foram o P1 e o P2, com 3.133 e 2.466 kg ha⁻¹, respectivamente, que apresentaram infestação de nematóides (*Rotylenchulus reniformis*), sofrendo acentuada redução na área foliar. Já os

pivôs P3 e P4 mantiveram-se sem infestação de pragas ou doenças durante todo o ciclo e apresentaram as melhores produtividades, que foram de 4.500 e 4.741 kg ha⁻¹, respectivamente.

CONCLUSÕES

É possível estimar os teores foliares de N através do Índice de Vegetação da diferença Normalizada (NDVI) no estágio de máximo florescimento do algodoeiro irrigado; e

Pode-se estimar a produtividade do algodoeiro utilizando o Índice de Área Foliar (IAF) obtido através de técnicas de sensoriamento remoto na cultura.

AGRADECIMENTOS

A Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa e a Fazenda Busato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R., BASTIAANSEN, W., WATERS, R., TASUMI, M., TREZZA R. **Surface Energy Balance Algorithms for Land**. Advanced Training and Users Manual, Idaho. 2002.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 152f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. UFCG, Campina Grande-PB, 2009.

CARVALHO, M. da C.S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília, D.F.: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2007. p. 581- 647.

LUQUET, D., A.; BÉGUÉ a,1, VIDAL, A., CLOUVEL, P., DAUZAT, J., OLIOSO, A., GU, X.F., TAO, Y., Using multidirectional thermography to characterize water status of cotton. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 411-421, 2003.

MAITY, S.; PATNAIK, C.; CHAKRABORTY, M.; PANIGRAHY, S. Analysis of Temporal Backscattering of Cotton Crops Using a Semiempirical Model, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 3, p. 577-587, 2004.

MKHABELA, M. S.; BULLOCK, P.; RAJ, S.; WANG, S.; YANG, Y. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 151, p. 385-393. 2011.

PICOLI, M. C. A., RUDORFF, B. F. T., RIZZI, R., GIAROLLA, A. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 68, p. 789-795. 2009.

REDDY, K. R., KOTI, S., DAVIDONIS, G. H., REDDY, V. R. Interactive effects of carbon dioxide and nitrogen nutrition on cotton growth, development, yield, and fiber quality. **Agronomy Journal**. v. 96, p. 1148-1157. 2004.

ROSOLEM, C. A. Fenologia e ecofisiologia no manejo do algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão no Cerrado do Brasil**. Brasília: ABRAPA, 2007. 918 p.

ZHAO, H. D.; LI, L. J.; QI, G. J. Identification of red and NIR spectral regions and vegetative indices for discrimination of cotton nitrogen stress and growth stage. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 48, p. 155–169, 2005.

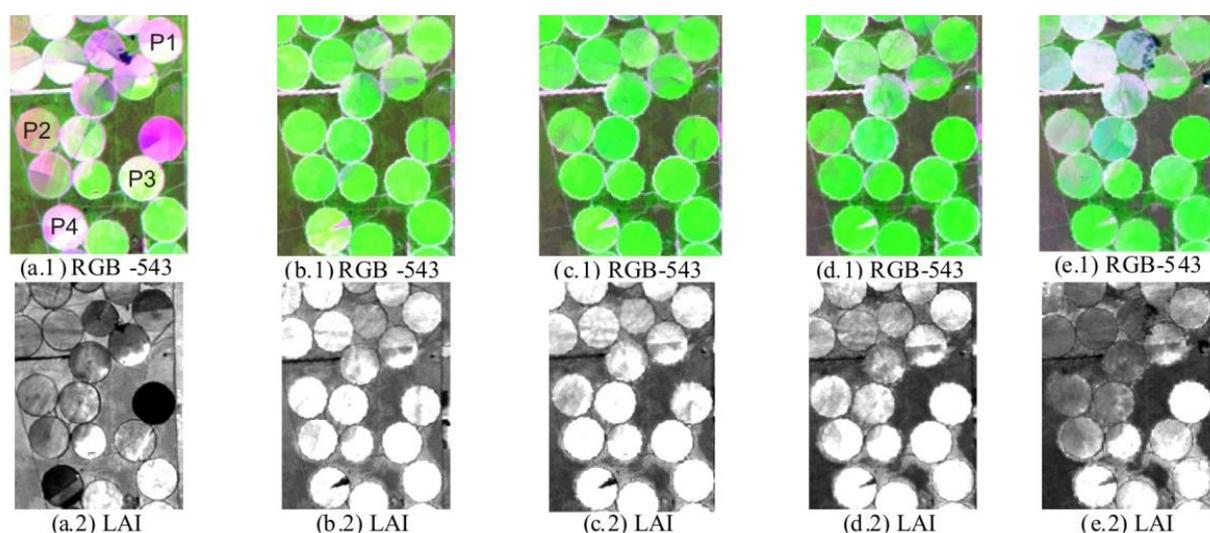


Figura 1: Imagens TM Landsat-5 para estádios fenológicos distintos do algodoeiro. São apresentadas imagens em combinações RGB-543 e as respectivas imagens dos Índices de Área Foliar, para as seguintes datas: (a.1) e (a.2) 25/03/07; (b.1) e (b.2) 26/04/07; (c.1) e (c.2) 12/05/07; (d.1) e (d.2) 28/05/07; (e.1) e (e.2) 13/06/07.

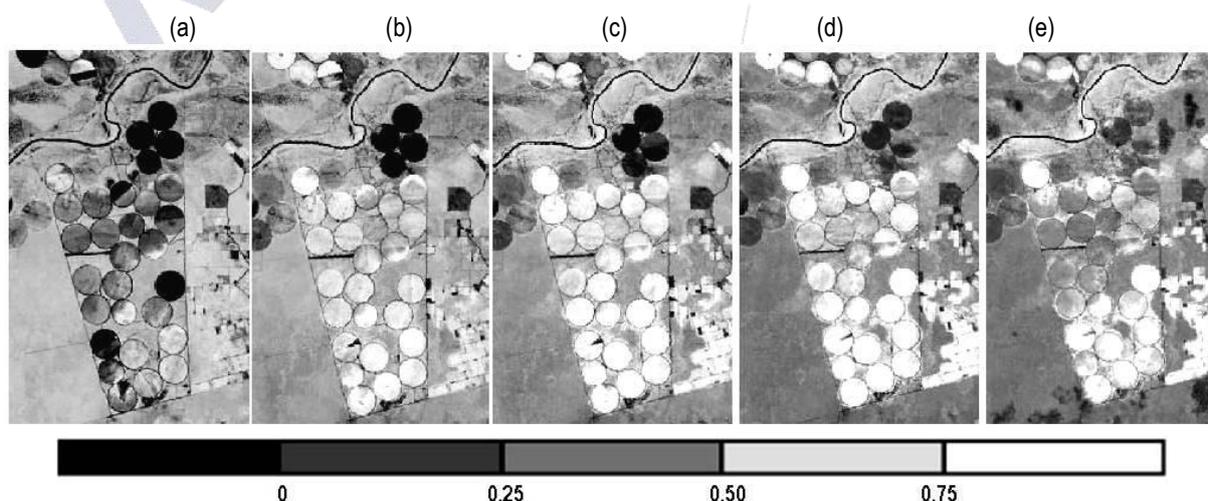


Figura 2: Imagens NDVI obtidas a partir dos canais 3 e 4 do TM Landsat-5 para diferentes estádios fenológicos do algodoeiro, correspondendo as imagens nas seguintes datas: (a) 25/03/07; (b) 26/04/07; (c) 12/05/07; (d) 28/05/07; e (e) 13/06/07. A escala graduada em tons de cinza representa o NDVI.

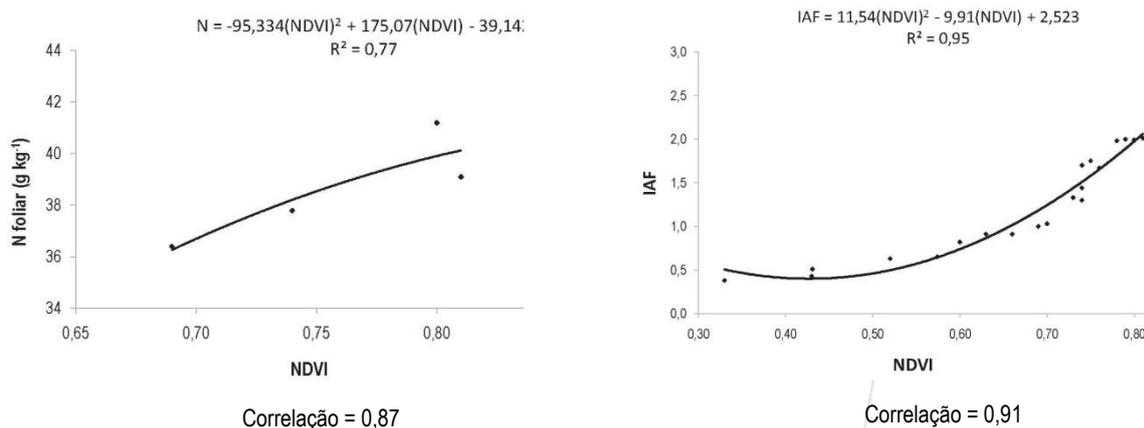


Figura 3: (a) Máximo NDVI obtido através de imagens do TM Landsat-5 para estimativa do teor foliar de N nos quatro pivôs estudados. (b) Estimativa do IAF a partir do NDVI obtido durante todo o ciclo do algodoeiro irrigado, para os quatro pivôs estudados.

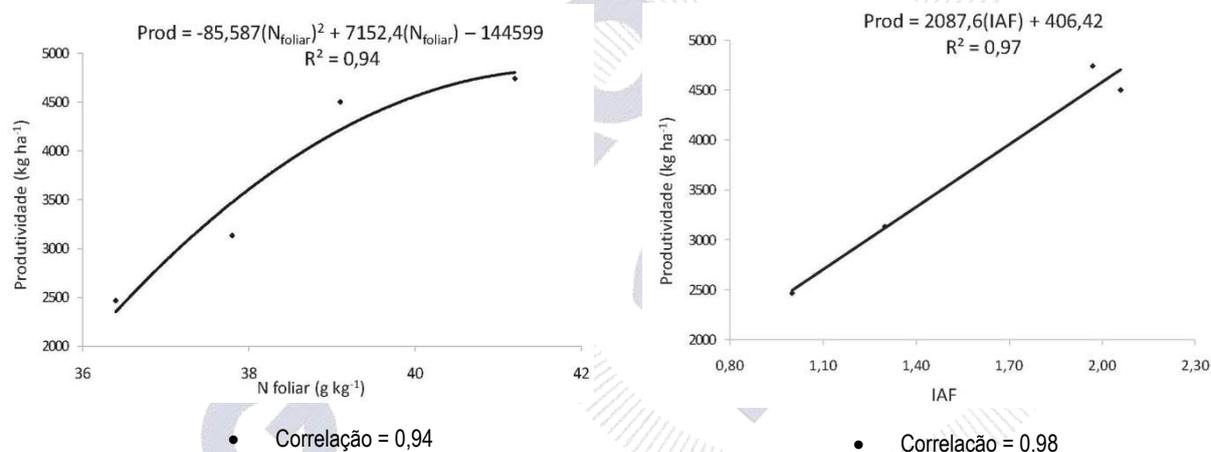


Figura 4: Estimativa da produtividade do algodoeiro irrigado obtida por: (a) Teores foliares de N com análise obtida a partir de folhas extraídas no mês de máximo NDVI; (b) IAF obtido a na imagem correspondente ao máximo NDVI para os quatro pivôs estudados.