



Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia¹

Paulo J. de O. P. de Souza², Aristides Ribeiro², Edson J. P. da Rocha³, Renata S. Loureiro³, Carlos J. C. Bispo³ & Adriano M. L. Sousa³

RESUMO

O avanço da fronteira agrícola na Amazônia pode acarretar graves impactos ambientais, constituindo a mudança no albedo da superfície um dos principais forçantes. Avaliou-se, neste trabalho, o albedo da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill), plantada em condições naturais de campo, na cidade de Paragominas, PA, região com grande avanço da fronteira agrícola na Amazônia, e se observou relação direta entre o albedo da soja e o seu índice de área foliar, valor máximo diário variando entre 0,24 e 0,25 associado a um IAF de 7,17 correspondente a 1297,62 graus-dia acumulados. Em termos médios, encontrou-se que a o estágio fenológico mais crítico da cultura, tendo como base a mudança no albedo, é o estágio fenológico de frutificação na qual a mesma apresenta um albedo médio máximo de 23,3% ($\pm 0,0007$). Modelos empíricos foram ajustados para simular a variação diária do albedo em função do IAF e umidade do solo, ao longo do ciclo, e a variação diurna do albedo na elevação solar, para cada estágio fenológico da soja.

Palavras-chave: mudança no uso da terra, refletância, monocultura

Albedo of soybean crop in the frontier region of the Amazon

ABSTRACT

Soybean expansion in the Amazon has been increasing considerably in recent years, the consequences of which can be serious environmental impacts. In this paper the soybean albedo (*Glycine Max* (L.) Merrill) was evaluated, which was planted in natural field conditions in Paragominas city (PA), a region representative of agricultural expansion in Amazon. A direct relationship was observed between soybean albedo and its leaf area index (LAI), showing a daily maximum value between 0.24 and 0.25 associated to a LAI of 7.17, when soybean has accumulated 1297.62 degree-days. It was found that the most critical phase of the crop, based on change in surface albedo, is the fruitification phase, when albedo shows a maximum mean value of 0.23 (± 0.0007). Empirical models were fitted to simulate the daily variation of the albedo as a function of LAI and soil humidity during the cycle, and to simulate the diurnal variation of the albedo as a function of solar elevation, for each soybean phase.

Key words: land use change, reflectance, monoculture

¹ Parte integrante de Tese de Doutorado do primeiro autor

² DEA/UFV, Av. P. H. Holfs, s/n, Centro, CEP 36570-000, Viçosa, MG. Fone: (31) 3891-6483. E-mail: paulo.jorge@ufpa.edu.br; ribeiro@ufv.br

³ DM/UFPA, Av. Augusto Corrêa 1, Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA. Fone: (91) 3272-8743. E-mail: eprocha@ufpa.br; renatasloureiro@hotmail.com; ccapela@ufpa.br; marlison@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço da fronteira agrícola na Amazônia vem-se estendendo a olhos vistos, deixando toda a sociedade sobressaltada em relação a possíveis mudanças no padrão das trocas de superfície, tendo como principal atrativo a monocultura da soja (Dantas & Fonteles, 2006, D'Ávila, 2006, Mueller & Bustamante, 2006). Segundo Mueller (1992), a rápida expansão da soja no Brasil foi consequência de dois fatores importantes: do apoio do governo brasileiro e das condições edafoclimáticas favoráveis ao seu desenvolvimento.

A cultura da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) foi introduzida no País em torno de 1882, no estado da Bahia, vinda dos Estados Unidos; uma década depois, foi testada nas condições de São Paulo, mas sua expansão só obteve considerável êxito quando foi levada para o Rio Grande do Sul, em 1900, cujas condições climáticas eram similares às da região de origem (EMBRAPA, 2005).

De acordo com Igreja et al. (1988), a partir da década de 80 a soja se expandiu para outras regiões, como os estados de Goiás, Oeste de Minas Gerais, Sul do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul; em alguns casos, como no cerrado, a expansão da soja ocorreu devido ao tipo de relevo da região, à fácil correção química do solo e ao apoio técnico-científico oferecido pelo Governo (Anderson et al., 2003).

Na década de 2000 a soja chegava à Amazônia, mas seu cultivo (73 mil ha) em relação ao restante do País, era ainda insignificante (Mueller & Bustamante, 2006). No estado do Pará, mais especificamente, a área plantada era de apenas 1.2 mil ha no ano de 2000, porém a região já vinha recebendo incentivos governamentais desde 1994, para o aumento da produção de grãos, principalmente nas regiões de Santarém e Paragominas (SAGRI, 2007). Em 2005, a quantidade de área plantada no estado já chegava a 68 mil ha, com produtividade média de 3 t ha⁻¹.

Muitos trabalhos sobre as prováveis alterações hidrológicas (Santiago, 2005) e climáticas na Amazônia (Henderson-Sellers & Gornitz, 1984; Nobre et al., 1991) devido à substituição da floresta por áreas de pastagem, mostram que a conversão ocasionaria sérios impactos, como aumento na temperatura do ar (Nobre et al., 1991), aumento no albedo da superfície (Randow et al., 2004) e redução da evapotranspiração (Santiago, 2005); no entanto, maior parte desses trabalhos sobre mudança do uso do solo na região considera apenas a pastagem em substituição à cobertura original.

Resultados de Costa et al. (2007), baseados em dados preliminares deste estudo, mostram que a substituição da floresta Amazônica para o plantio da soja ocasiona uma redução muito maior na precipitação da região, quando comparada com a substituição da floresta por áreas de pastagem, principalmente pelos altos valores do albedo da cultura da soja.

Ante o exposto, buscou-se apresentar neste trabalho as variações do albedo durante o ciclo da cultura da soja, em uma área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia, para fornecer informações com fins a uma correta parametrização dos modelos de simulação climática e de impactos am-

bientais, pelo fato do albedo ser considerado um dos mais importantes controladores da convecção nos trópicos (Berbet & Costa, 2003).

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

O experimento foi conduzido no município de Paragominas, situado na região nordeste do Estado do Pará cuja sede se localiza a 320 km da cidade de Belém, capital do Estado. O sitio experimental foi montado em uma área de plantio de soja com extensão contínua de cerca de 200 ha, localizada entre as latitudes 03° 01' 47" e 03° 02' 35" S e longitudes 47° 17' 23" e 47° 18' 35" W.

A escolha do município de Paragominas para a realização do estudo se deveu por se tratar de uma região sofrida, além de grande expansão do cultivo da soja nos últimos anos. A variedade de soja escolhida foi a *Candeia* por ser uma nova variedade desenvolvida pela EMBRAPA, com boa aceitabilidade por parte dos produtores. Toda a área foi plantada mecanicamente utilizando-se a técnica de plantio direto, em fileiras espaçadas a 0,45 m com espaçamento médio entre plantas de 0,10 m, resultando em uma densidade de cerca de 222.000 plantas ha⁻¹. O plantio foi realizado em 05 de fevereiro e a colheita em 15 de junho.

Uma torre instrumentada de 4 m de altura foi montada no centro da área e se instalaram vários instrumentos meteorológicos, ligados a um datalogger CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e um multiplex AM416 (Campbell Scientific, Inc.); enfim, a torre ficou localizada nas coordenadas 03° 02' 15" S e 47° 17' 56" W.

A frequência de leitura de dados foi de 10 s com médias e totais gravados a cada 10 min; todo o sistema foi alimentado por um painel solar enquanto o período de coleta de dados utilizado no estudo se manteve entre os meses de janeiro e junho de 2006.

A Radiação Solar Global foi monitorada através de um piranômetro (Campbell Scientific, Inc.) e a componente refletida da radiação solar foi medida com um piranômetro invertido. A Tabela 1, abaixo, apresenta a lista de variáveis meteorológicas e instrumentação utilizadas neste estudo, tal como sua localização em relação ao nível do solo.

Tabela 1. Variáveis meteorológicas utilizadas

Variáveis	Sensor	Nível
Radiação solar incidente	Piranômetro CMP3 (Kipp & Zonen)	2,45 (m)
Radiação solar refletida	Piranômetro CMP3 (Kipp & Zonen)	2,45 (m)
Umidade do solo	Reflectômetro CS615 (Campbell Sci.)	0-30 (cm solo)
Velocidade do ar	Anemômetro R.M. Young (Campbell Sci.)	1 (m)

Determinação do albedo

Obteve-se o albedo (α) como sendo a razão entre as componentes refletida (R_r) e incidente (R_g) da Radiação Global:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \quad (1)$$

Um modelo empírico foi ajustado aos dados médios diários através de regressão linear múltipla entre o albedo, o índice de área foliar (IAF) e a umidade do solo. Para os dados médios horários ajustou-se um modelo exponencial para descrever a variação diurna do albedo, em função da elevação solar. A performance dos modelos foi avaliada através de métodos gráficos e estatísticos e como critério estatístico, se usaram o coeficiente de determinação (R^2), a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o índice de concordância (d) desenvolvido por Wilmott et al. (1985), obtido por:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (2)$$

em que:

P_i – albedo predito

O_i – albedo observado

\bar{O} – albedo médio observado

Avaliação do desenvolvimento

Fez-se o acompanhamento dos estádios fenológicos da soja diariamente, segundo a escala de Fehr & Caviness (1977). Além da avaliação diária, avaliou-se o estágio fenológico da planta durante a coleta semanal de biomassa; após o estágio vegetativo V10, decidiu-se por avaliar apenas o início do florescimento em diante, em virtude da maioria das parcelas observadas apresentar uma variação muito grande nas fases, dentro de uma mesma linha, dificultando o acompanhamento do desenvolvimento da cultura.

Determinação do índice de área foliar (IAF)

Medidas de IAF da cultura da soja também foram realizadas e usadas nas análises. A área foliar foi estimada através do método dos discos, segundo metodologia proposta por Benincasa (2003). Semanalmente selecionaram-se, de forma aleatória, seis parcelas representadas por linhas de 1 m de comprimento das quais eram coletadas todas as plantas. Cada parcela era representada por uma média de 10-12 plantas, resultando em uma amostragem com seis repetições.

Com base nessas amostras de biomassa coletava-se cerca de 30 discos das folhas de cada parcela, que foram pesadas e levadas à estufa durante 48 h até atingir peso constante.

De posse dos valores do peso seco dos discos de cada parcela, a área foliar foi então estimada conforme a Eq. 3.

$$Af = \left(\frac{Ad * (Pd + Pf)}{Pd} \right) \quad (3)$$

$$Ad = (\pi R^2) * nd$$

em que:

Af – área foliar

Ad – área dos discos

Pd – peso seco dos discos

Pf – peso seco do resto das folhas

nd – número de discos

De posse da área foliar obteve-se o Índice de Área Foliar (IAF) por meio da Eq. 4.

$$IAF = \left(\frac{Af}{As} \right) = \left(\frac{Af}{D_{planta} * D_{linha}} \right) \quad (4)$$

em que:

As – área do solo

D_{planta} – distância média entre plantas (≈ 10 cm)

D_{linha} – distância média entre linhas (≈ 45 cm)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Blad & Backer (1972), o albedo da soja, como de qualquer outra cultura, pode ser influenciado por vários fatores, dentre os quais se destacam o grau de cobertura vegetal, a condição hídrica do solo e do vegetal, a cobertura de nuvens e o ângulo de incidência dos raios solares; outro aspecto que pode influenciar no grau de reflexão da cultura é a velocidade do vento, haja vista que ocasiona reclinção da cobertura (Song, 1998); assim, esses conceitos foram considerados para a análise da variação do albedo, nas diferentes fases de crescimento da cultura.

Fatores intervenientes

Elevação solar

A Figura 1 apresenta a variação do albedo em função da elevação solar; pode-se observar, na Figura 1A, uma grande variação nos valores de albedo associada aos baixos valores de elevação solar em razão de que, durante o início e o final do dia, momentos de menor elevação solar, os raios incidem paralelamente sobre a cobertura vegetal ocorrendo, então, pouco aproveitamento da radiação e sendo a maior parte refletida pela superfície. Resultados semelhantes foram verificados por Fontana et al. (1991).

A Figura 1B apresenta o ciclo diurno do albedo, em que se observam maiores valores no início da manhã e no final da tarde, associados à baixa elevação solar; próximo do meio-dia solar, período de maior elevação solar (90°), se encontram os menores valores de albedo associados ao ângulo de incidência da radiação que, neste momento, com maior elevação facilita sua penetração ao longo do dossel (Moura et al., 1999). Percebe-se que, após o momento de máxima elevação solar, o qual corresponde ao período do meio-dia, o albedo apresenta leve redução e um incremento próximo ao final do dia.

Esta variação diária no albedo ocorre por dois motivos básicos; durante dias nublados a radiação solar incidente reduz em intensidade, além de apresentar alteração na sua qualidade e, segundo, pelo fato de algumas superfícies apresentarem reflexão diferenciada, dependendo do espectro da radiação que incide sobre ela (Blad & Backer, 1972). Conforme os autores, os maiores valores aqui observados no início do dia em comparação com o final da tarde, podem estar associados ao murchamento momentâneo das folhas na parte da tarde, decorrente do intenso aquecimento.

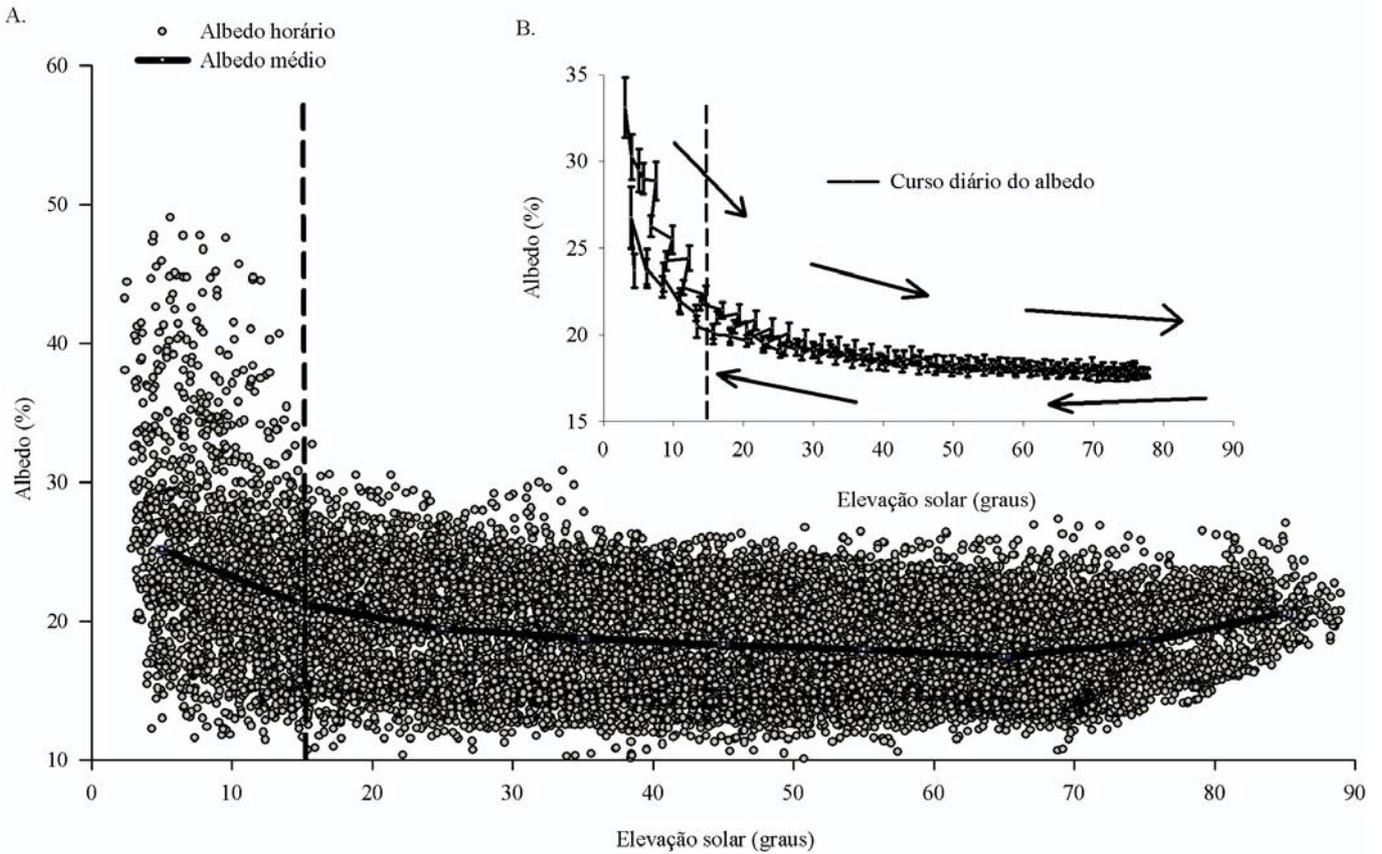


Figura 1. Variação do albedo (A) e curso diário do albedo (B) em função do ângulo de elevação solar. Barra vertical na Figura 1B corresponde ao erro padrão

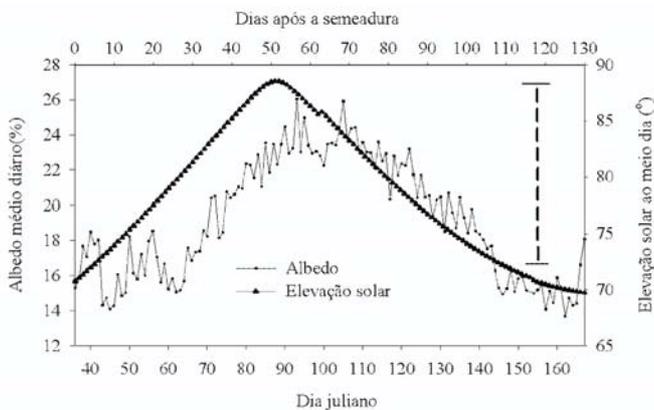


Figura 2. Série temporal do albedo médio diário e elevação solar ao meio-dia ao longo do ciclo da soja

Moura et al. (1999) constataram que a variação anual no albedo diário da pastagem apresenta forte correlação com a elevação solar ao meio-dia, com altos valores de albedo durante o mês de junho, quando a elevação solar é mínima. A Figura 2, acima, apresenta a variação temporal do albedo da cultura da soja e da elevação solar ao meio-dia, de onde é possível concluir que a elevação solar não teve qualquer correlação com os valores de albedo médio diário, ao longo do ciclo, como a teoria sugere. Um fator que contribui para isto pode estar associado à baixa latitude do local (3° S), fazen-

do com que se tenha uma amplitude de no máximo 20° na elevação máxima, ao longo do ciclo da soja; outro aspecto importante é que, pelo fato da região apresentar bastante nebulosidade durante esta época do ano, a elevação solar deixa de ter grande importância já que grande parte da radiação incidente chega em forma difusa, indicando que existem outros fatores mais significativos na determinação do albedo diário da cultura, embora haja, também, grande importância da elevação na variação horária do albedo, conforme constatado por Leitão et al. (2002).

Índice de área de foliar

Observa-se, na Figura 3, estreita relação entre o albedo e o IAF da soja. No início do plantio, quando o solo se encontra parcialmente coberto (pequeno IAF), o albedo da soja ficou em torno de 0,16-0,17, representando uma combinação entre o solo nu e a cultura. Durante este estágio se nota que o valor médio diário do albedo é susceptível à influência de outros parâmetros o que explica a oscilação no albedo até próximo dos 30 dias após a semeadura (DAS) causado pela variação na umidade do solo, decorrente da chuva. Sempre que a cultura se estabelece e indica um aumento no IAF, tem-se efeito direto no albedo da mesma, atingindo um valor máximo em torno de 0,24 próximo dos 70 DAS, associado a um IAF máximo de 7,17; esses resultados estão coerentes com os valores encontrados por Fontana et al. (1991), em que o albedo atingiu cerca de 0,24 durante o maior IAF

(7,70). Blad & Baker (1972) encontraram, para a cultura soja, um albedo médio diário variando de 0,24 a 0,27 quando a cultura cobria totalmente o solo.

Com o declínio do IAF e início da senescência, a redução no albedo da cultura atingiu um valor de 0,14 no final do plantio, cuja dependência do albedo em função do IAF também foi encontrada por Galvani et al. (2000) para a cultura do pepino, ao encontrarem, para condição de campo, valores mínimos de albedo de 0,11 no início do ciclo e máximos de 0,25 associados a valores máximos de IAF de 2,30. Resultados de Blad & Baker (1972), mostram que, na medida em que a soja cobre o solo, o albedo da superfície, que antes era 0,10%, apresenta aumento a uma taxa de 1,3% para um aumento de 10% na cobertura do solo.

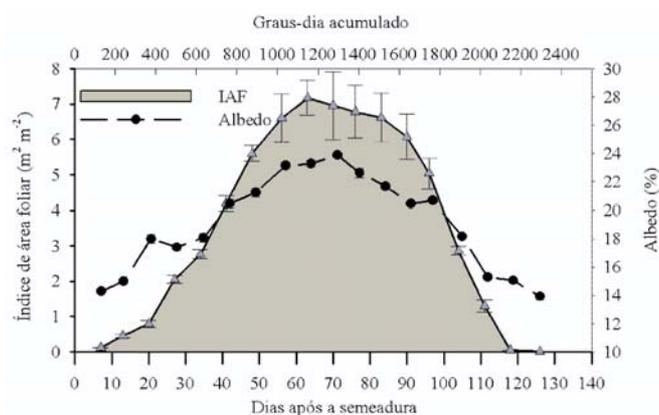


Figura 3. Variação do albedo médio diário e índice de área foliar ao longo do cultivo da soja. Barras verticais correspondem ao erro padrão

Umidade do solo

De acordo com Dalmolin et al. (2005), quanto maior o teor de umidade nos solos eles se tornam mais escuros reduzindo, assim, a reflexão da superfície. Leitão & Oliveira (2000) comparando o albedo de uma superfície arenosa coberta com cultura de amendoim em dias com e sem irrigação, concluíram que o molhamento da superfície ocasionou, devido à irrigação, uma redução no albedo de cerca de 9%; este aspecto pode ser observado na Figura 4, que apresenta a variação do albedo, juntamente com o teor de umidade do solo.

Percebe-se, pela Figura 4 que, durante o estágio inicial, o albedo apresenta comportamento inverso ao do teor de umidade no solo, o que é explicado pelo fato de que, durante esta fase e até aproximadamente IAF igual a 1,5 (\approx DAS 26), a soja não cobre todo o solo, havendo uma mistura entre o albedo da cobertura vegetal e o do solo. Resultados semelhantes foram verificados por Blad & Baker (1972) para a cultura da soja.

Em torno dos 100 DAS (1840 GD), quando a soja se aproximava do seu estágio de vagem plena (R6) observou-se, no campo, queda das folhas e, desta forma, o solo começa a perder a cobertura vegetal que antes existia, apesar da soja apresentar IAF acima de 2, neste momento (Figura 3); em razão disto, observa-se declínio no albedo, também associado aos valores elevados de umidade no solo.

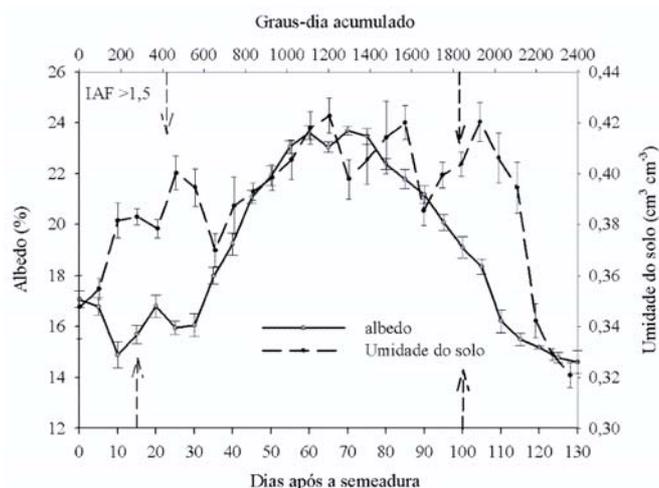


Figura 4. Variação do albedo médio diário e da umidade do solo nos primeiros 30 cm do solo, ao longo do ciclo da soja. Barras verticais correspondem ao erro padrão

Velocidade e direção do vento

Muitos modelos de transferência de radiação consideram simétrico o ciclo diurno do albedo, mesmo seguindo uma parábola, porém a assimetria encontrada algumas vezes no ciclo do albedo não é explicada pelos fatores comumente conhecidos podendo, então, haver uma forte relação entre as condições predominantes do vento e esta variação no albedo (Song, 1998).

Resultados encontrados pelo mesmo autor mostram que o albedo do trigo e do milho apresentou maiores valores durante a manhã que durante a tarde, em toda a ocorrência de ventos cuja predominância causa inclinação na vegetação em direção ao oeste; o inverso, menor albedo pela manhã, foi encontrado com a ocorrência de predominância de ventos de oeste, causando inclinação da planta para o leste.

Durante a maior parte do experimento a direção predominante do vento foi de leste, com pequena mudança para sudeste nos últimos dois meses do experimento. Mesmo com predominância na direção do vento, não foi possível perceber tendência no albedo em função do aumento na velocidade do ar; pode-se dizer, então, que a assimetria encontrada no ciclo diurno do albedo observado na Figura 1B, é função de outro fator e não do vento.

Albedo durante o ciclo da soja

O comportamento do albedo ao longo do ciclo da soja é apresentado na Figura 5, na qual se percebe que, durante o tempo em que a soja permanece no campo, ocorre uma contínua mudança no albedo da superfície, sempre que ela se desenvolve, conforme foi discutido; muitas vezes, esta mudança temporal não é considerada nos modelos de previsão de tempo nem nos que simulam mudanças climáticas. Um dos aspectos significativos desta alteração diz respeito aos impactos que ocorrem no balanço de energia da superfície (Souza et al., 2007). Resultados preliminares foram utilizados por Costa et al. (2007) em simulações climáticas, nas quais se encontrou, também, redução de quase 16% na precipitação da Amazônia ao se considerar a soja na substituição da floresta devido principalmente ao seu alto albedo.

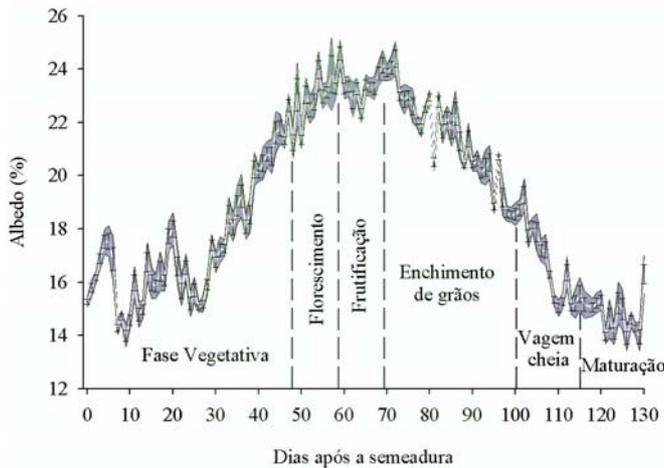


Figura 5. Albedo médio diário durante o ciclo da cultura de soja com intervalo de confiança para nível de probabilidade de 95%

Até antes do florescimento (R1) o albedo da soja oscila entre 0,14 e 0,22 o que, na verdade, representa uma mistura entre a cobertura vegetal e o solo, que ainda permanece descoberto sendo função, portanto, do teor de umidade no solo.

Durante o florescimento e até a frutificação (R3-R4), o albedo da soja apresenta o seu maior valor, variando entre 0,22 e 0,25, mantendo-se neste intervalo até em torno da metade do estágio de enchimento de grãos (R5); referidos valores estão de acordo com os resultados encontrados por Fontana et al. (1991) para a cultura da soja cultivada no Rio Grande do Sul, que apresentou albedo médio diário de 0,26 quando a mesma apresentava IAF entre 4,70 a 7,70 (V8 a R6).

A partir deste estágio (R5), o albedo começa a decrescer devido ao início da queda de folhas que acontece durante este período, como consequência da translocação de assimilados da folhas para os grãos. Quando a soja se encontra no estágio de vagem plena (R6), o seu albedo apresenta valores em torno de 0,15, oscilando em torno deste valor até o estágio de maturação.

Resultados encontrados por Souza et al. (1999), também mostram esta variação no albedo ao longo do ciclo de uma cultura, cujos valores para o feijão-vagem foram de 0,10 no estágio V1, 0,16 no estágio R5, apresentando diminuição após o estágio R9. A Tabela 2, abaixo, apresenta os valores médios do albedo da soja para cada estágio e o seu período de duração.

Nota-se que o período mais crítico, com máximo albedo (0,23), é durante a frutificação (R3-R4). Embora este alto

Tabela 2. Valores médios do albedo (\pm erro padrão) para cada estágio fenológico da soja na Amazônia e duração do estágio

Estádio fenológico	Albedo (%)	Duração (dias)
Vegetativa (V1...Vn)	17,19 \pm 0,05	46
Florescimento (R1...R2)	22,77 \pm 0,11	10
Frutificação (R3...R4)	23,31 \pm 0,08	13
Enchimento de grãos (R5)	21,69 \pm 0,05	30
Vagem cheia (R6)	17,19 \pm 0,07	15
Maturação (R7...R8)	14,83 \pm 0,07	16

valor possa causar consideráveis modificações no balanço de radiação (Souza et al., 2007), a duração deste estágio, de apenas 13 dias, pode ser algo favorável e tornar essas prováveis mudanças menos significativas; por outro lado, ao se considerar todo o período compreendido entre o florescimento e o estágio de enchimento de grãos, quando o albedo está sempre acima de 0,20, conclui-se que o tempo de influência será de 53 dias, quando então a cultura da soja possa causar impactos mais prejudiciais.

Considerando que de todos os fatores analisados apenas o IAF e o teor de umidade do solo contribuíram efetivamente para a variação do albedo médio diário, procurou-se elaborar um modelo que melhor se ajustasse aos dados, através de regressão múltipla entre as variáveis citadas.

Conforme discutido antes, o albedo foi bastante sensível ao teor de umidade do solo durante a fase inicial mas posteriormente controlado pelo IAF; com base nisto é que se estipulou, através do melhor coeficiente de determinação (R^2), um valor de IAF igual a 2 como sendo o momento em que a umidade do solo passa a ter importância secundária no controle do albedo; desta forma, dois modelos empíricos foram desenvolvidos para simular o albedo médio diário, ou seja, um considerando os dados até IAF igual a 2 e outro para dados com IAF acima de 2.

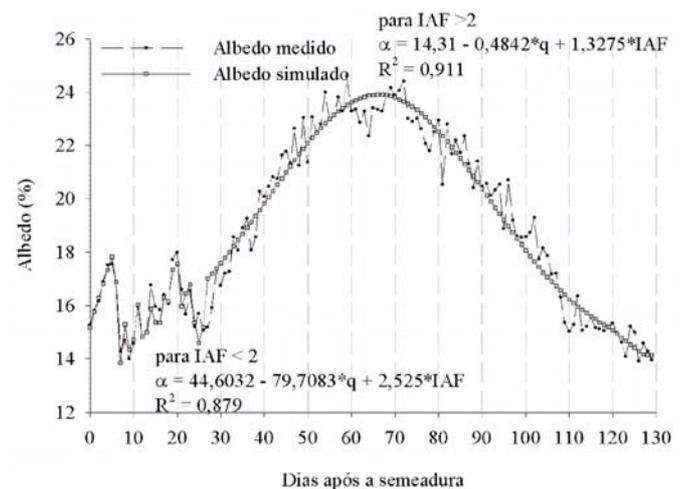


Figura 6. Simulação do albedo diário em função do teor de umidade do solo (q) e do IAF

Nota-se, pela Figura 6, que os modelos empíricos encontrados se ajustaram muito bem aos dados observados, com coeficientes de determinação de 0,88 para a equação usada com IAF < 2 e 0,91 para o modelo com IAF > 2. A oscilação nos valores de albedo que não foi representada no segundo modelo, pode estar associada ao grau de nebulosidade que variou bastante ao longo do ciclo, fazendo com que a radiação incidente fosse qualitativamente diferente de um dia para o outro mas, infelizmente, não pôde ser avaliado por ausência de informações. Preferiu-se optar, no final do ciclo, por simular o albedo com a mesma equação de IAF > 2, pois foi a que apresentou melhores resultados e também pelo fato de que, neste período e apesar do IAF ser baixo, o solo

permanecia parcialmente coberto com material morto, pouco controlado pelo teor de umidade do solo, que na época era baixo.

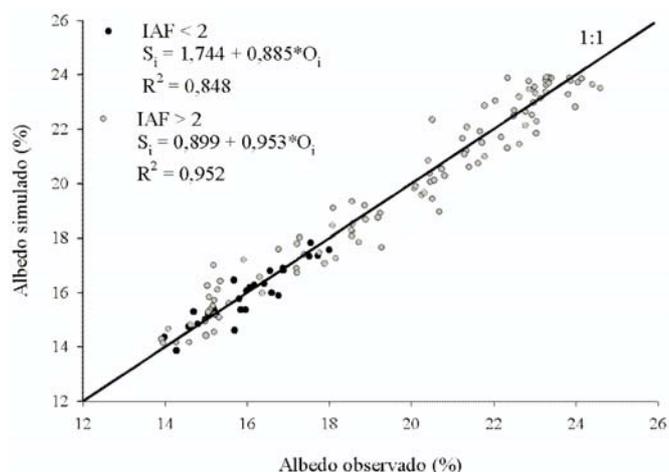


Figura 7. Albedo médio diário observado versus simulado para condições de IAF < 2 e IAF > 2. Si da equação representa albedo simulado e Oi, o observado

Embora o modelo não consiga representar com perfeição as oscilações ocorridas ao longo do ciclo da soja se nota, na Figura 7, uma ótima precisão dos valores simulados ($R^2 = 0,85$ para IAF < 2; e $R^2 = 0,95$ para IAF > 2). O coeficiente “b” da regressão linear encontrada indica que os modelos tiveram cerca de 0,88 e 0,95 de exatidão para

IAF < 2 e IAF > 2, respectivamente; além dos baixos erros aditivos gerados (coeficiente “a” da equação), os modelos indicaram baixos erros e bons índices de concordância havendo, em média, uma subestimativa com diferenças de menos de 1% (Tabela 3); esses resultados mostram que os modelos empíricos aqui apresentados podem ser utilizados com alto grau de confiança para a estimativa do albedo médio diário da soja.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos dos modelos usados para simular o albedo. \bar{O} representa o albedo médio observado e \bar{P} o albedo médio previsto pelo modelo

Modelo	O	P	Dif (%) ¹	RMSE	d
IAF < 2	15,96	15,88	-0,5	0,422	0,957
IAF > 2	19,71	19,70	-0,05	0,696	0,987

$$^1 \text{Diferença (\%)} = \left(\frac{\bar{P} - \bar{O}}{\bar{O}} \right) * 100$$

Variação horária do albedo da soja

A Figura 8 apresenta a variação horária do albedo para cada estágio fenológico da soja. Embora a elevação solar não tenha controle algum na determinação do albedo médio diário ao longo do ciclo, como já discutido (Figura 2) percebe-se, pela Figura 8, que no ciclo diurno este parâmetro se torna importante. Durante os estádios fenológicos em que a soja apresenta maiores valores de IAF (florescimento-frutificação-enchimento) o albedo mostra perfeita simetria fazendo crer mais uma vez, que no período em que a cultura cobre completamente o solo o albedo é determinado principalmente

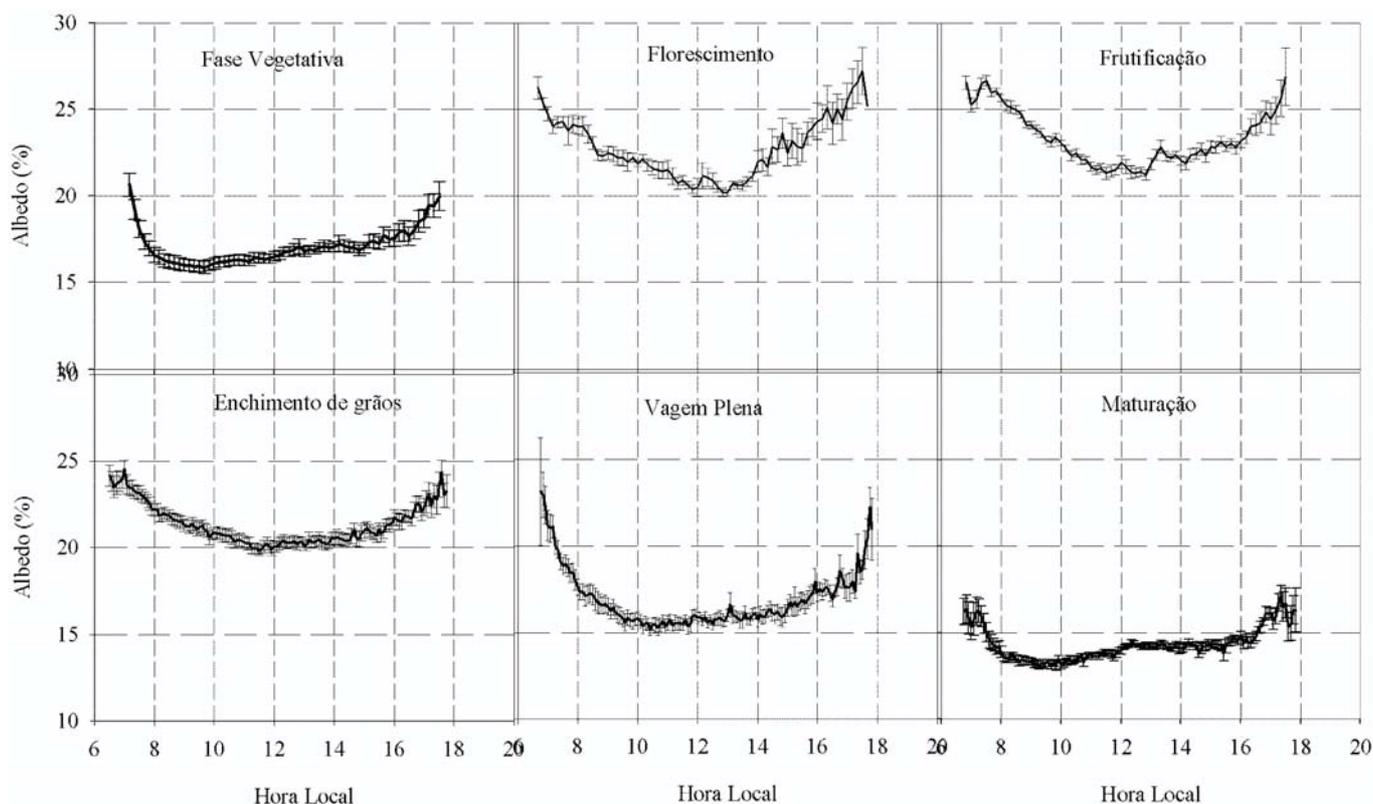


Figura 8. Ciclo diurno do albedo para cada estágio fenológico da soja. Barras verticais correspondem ao erro padrão

pelas propriedades óticas da cultura, conforme também reportado por Jacobs & van Pul (1990); nos demais estádios fenológicos da soja, ocorre uma assimetria entre o período da manhã e o da tarde, não só devido ao efeito da elevação solar mas, também, do molhamento foliar, teor de umidade no solo e grau de nebulosidade.

Dada a importância da elevação solar no ciclo diurno do albedo, um modelo empírico foi ajustado à curva média do albedo em função da elevação solar para cada estágio fenológico, conforme a Tabela 4, seguinte. Verifica-se que em todos os estádios fenológicos da soja o modelo ajustado à curva média diária consegue explicar muito bem a variação total dos dados, com boa precisão (altos valores de R²).

Tabela 4. Modelo exponencial para simulação do albedo médio horário para cada estágio fenológico da soja em função da elevação solar (E)

Estádio fenológico	modelo	R ²
Vegetativa (V1...Vn)	$16,8 + 8,46\exp^{-0,1E}$	0,82
Florescimento (R1...R2)	$20,23 + 9,93\exp^{-0,03E}$	0,97
Frutificação (R3...R4)	$21,01 + 7,89\exp^{-0,03E}$	0,97
Enchimento de Grãos (R5)	$20,70 + 9,97\exp^{-0,073E}$	0,94
Vagem cheia (R6)	$15,98 + 13,16\exp^{-0,076E}$	0,98
Maturação (R7...R8)	$13,87 + 32,16\exp^{-0,159E}$	0,99

CONCLUSÕES

1. O albedo da cultura da soja apresentou dependência muito forte do seu índice de área foliar e, posteriormente, dos demais parâmetros climáticos.

2. Encontrou-se um aumento contínuo no albedo da área estudada na medida em que a soja se desenvolvia, apresentando maior valor médio durante o estágio fenológico de frutificação e máximo valor diário entre 0,24-0,25, aos 70 DAS, associado ao máximo valor de IAF.

3. Um modelo empírico foi ajustado aos dados originais, em função do IAF e umidade do solo, enquanto os resultados apresentaram ótima precisão com índice de concordância igual a 0,96 e 0,99 para $IAF < 2$ e $IAF > 2$, respectivamente.

4. Embora o albedo diário da soja responda principalmente ao IAF e umidade do solo, sua variação horária pôde ser ajustada a um modelo exponencial, em função da elevação solar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa através do projeto CTHIDRO; o primeiro autor é grato a CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.

LETERATURA CITADA

Anderson, L. O.; Rojas, E. H. M.; Shimabukuro, Y. E. Avanço da soja sobre os ecossistemas cerrado e floresta no Estado do Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, São Jose dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p.19-25.

Blad, B. L.; Backer, D. G. Reflected radiation from a soybean crop. *Agronomy Journal*, v.64, p.277-280, 1972.

Benincasa, M. P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

Berbet, M. L. C.; Costa, M. H. Climate change after tropical deforestation: seasonal variability of surface albedo and its effects on precipitation change. *Journal of Climate*, v.16, p.2099-2104, 2003.

Costa, M. H.; Yanagy, S. M. N.; Souza, P. J. O. P.; Ribeiro, A.; Rocha, E. J. P. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion. *Geophysical Research Letters*, v.34, L07706, 2007.

Dalmonin, R. S. D.; Gonçalves, C. N.; Dick, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, v.35, n.2, p.481-489, 2005.

Dantas, T. M.; Fonteles, L. V. Avanço da fronteira agrícola na Amazônia. <http://www.oktiva.net/sispub/anexo/9168>. 15 Out. 2006.

D'avila, N. Desmatamento na Amazônia: O novo nome da soja. <http://www.comciencia.br/reportagens/agronegocio/14.shtml>. 02 Mai. 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de produção da soja – Paraná. <http://www.cnpso.embrapa.br>. 15 Out. 2005.

Fehr, W. R., Caviness, C. E. Stages of soybean development. Ames, Iowa State University. Coop. Ext. Serv. Spec. 1977. Rep. 80.

Fontana, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, n.3, p.411-418, 1991.

Galvani, E.; Escobedo, J. F.; Pereira, A. B.; Campo, C. J. Medidas e estimativa do albedo em cultura de pepineiro cultivado a campo e em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.8, n.2, p.163-169, 2000.

Henderson-Sellers, A.; Gornitz, V. Possible climatic impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation. *Climatic Change*, v.6, p.231-257, 1984.

Igreja, A. C. M.; Packer, M. F. E Rocha, M. B. A evolução da soja no Estado de Goiás e seu impacto na composição agrícola. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 1988. 20p.

Jacobs, A. F. G.; van Pul, W. A. J. Seasonal changes in the albedo of maize crop during two seasons. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.49, n.4, p.351-360, 1990.

Leitão, M. M. V. B. R.; Oliveira, G. M. Influência da irrigação sobre o albedo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.214-218. 2000.

Leitão, M. M. V. B. R.; Santos, J. M.; Oliveira, G. M. O. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.256-261, 2002.

Moura, M. A. L.; Lyra, R. F. F.; Benincasa, M.; Souza, J. L.; Nascimento Filho, M. F. Variação do albedo em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.2, p.163-168, 1999.

Mueller, C. C. Dinâmica, condicionantes e impactos sócio-ambientais da evolução da fronteira agrícola no Brasil. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza, 1992. 23p. Documento de Trabalho n.7

- Mueller, C. C.; Bustamante, M. Análise da expansão agrícola no Brasil. www.worldbank.org/rfpp/news/debates/mueller.pdf. 10 Jan. 2006.
- Nobre, C. A.; Sellers, P. J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v.4, n.10, p.957-987, 1991.
- Randow, C. V.; Manzi, A. O.; Kruijt, B.; Oliveira, P. J.; Zanchi, F. B.; Silva, R. L.; Hodnett, M.; Gash, J.; Elbers, J. A.; Waterloo, M. Comparative measurements and seasonal variation in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. *Theoretical and Applied Climatology*, v.78, p.5-26, 2004.
- SAGRI – Secretaria de Agricultura do Estado do Pará. Evolução da safra de grãos no estado do Pará. www.sagri.pa.gov.br/documents/EvolucaoDaSafradeGraosnoPara.xls. 12 Mai 2007.
- Santiago, A. V. Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO. Piracicaba: ESALQ, 2005. 70p. Tese Doutorado
- Song, J. Diurnal assymetry in surface albedo. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.92, p.181-189, 1998.
- Souza, J. L.; Escobedo, J. F.; Tornero, M. T. T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.10, p.1763-1774, 1999.
- Souza, P. J. O. P.; Ribeiro, A.; Rocha, E. J. P.; Loureiro, R. S.; Bispo, C. J. C.; Sousa, A. M. L. Balanço de energia na soja em áreas de fronteira agrícola na Amazônia. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15, 2007, Aracaju. Anais...Aracaju: SBAGRO, 2007. CD-Rom.
- Wilmott, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, R. E.; Feddema, J. J.; Klink, K. M.; Legates, D. R.; O'Donnell, J.; Rowe, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v.90, n5, p.8995-9005, 1985.