



# INTERFERÊNCIA DA ARQUITETURA DO DOSSEL NA ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA INCIDENTE EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 13ª edição, de 26/08/2024 a 30/08/2024  
ISBN dos Anais: 978-65-5465-112-7

SILVA; Julie Andrews de França e <sup>1</sup>, RIBEIRO; Kaleb Lima <sup>2</sup>, SOUZA; Giselle Nerino Brito de <sup>3</sup>, OLIVEIRA; Leonardo Ramos <sup>4</sup>, CASTELLANI; Débora Cristina <sup>5</sup>, VASCONCELOS; Steel Silva <sup>6</sup>, ARAÚJO; Alessandro Carioca de <sup>7</sup>

## RESUMO

### Resumo

A complexidade do dossel de um sistema agroflorestal (SAF) interfere na distribuição vertical e na qualidade da luz que atinge o sub-bosque, e que por sua vez, pode influenciar no desenvolvimento e crescimento das espécies. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do dossel estratificado nos fluxos radiativos em um sistema agroflorestal biodiverso no Município de Tomé-Açu, Pará. Foram realizados cálculos de transmitância, refletância, absortância em diferentes períodos sazonais a partir dos dados obtidos em uma torre de observações micrometeorológicas no ano de 2022. E, posteriormente essas informações foram avaliadas em relação ao ângulo zenital. Além disso, foi aplicado o índice de vegetação melhorado (EVI) para monitorar o estado do SAF. Os diferentes estratos e o manejo do SAF influenciaram na distribuição vertical da radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $RFA_{in}$ ), em que as maiores transmitâncias ocorreram na camada mais baixa (entre 2 m e 5 m), local com maior densidade de cacaueiros e quando os ângulos zenitais foram menores. As absortâncias foram elevadas no início da manhã e no final do dia, com valores entre 0,57 e 0,81 e sobretudo no período menos chuvoso. Finalmente, com a aplicação do EVI e a partir das classes com maior quantidade de pixels, foi observado que o SAF apresentava uma vegetação saudável e/ou mais densa. Porém, a absortância não apresentou uma boa correlação com o EVI.

## 1. Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAFs) apresentam diferentes estratos vegetais que imitam uma floresta natural, cujas árvores e os arbustos atuam no processo da ciclagem de nutrientes e aproveitamento da radiação solar (PALUDO; COSTABEBER, 2012). Os dosséis desses sistemas são complexos visto que interferem na transmissão da radiação (SCHROTH et al., 2004), podem modificar os fluxos de densidade, a qualidade espectral e a distribuição espacial da luz (PARKER et al., 2002).

A luz influencia a forma de crescimento e desenvolvimento das copas, auxilia na compreensão da variedade dos aspectos estruturais e funcionais de uma floresta (PARKER et al., 2002; 2019), na distribuição espacial das espécies e na produção de biomassa (VILANI et al., 2007). A captação e o registro da energia refletida ou emitida pela superfície através das imagens obtidas por sensoriamento remoto podem fornecer dados da superfície terrestre (FLORENZANO, 2008) e com a aplicação dos índices de vegetação (IVs) é possível

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFPA, giselnerino@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lido87@gmail.com

<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

Nesse contexto, destaca-se a importância da radiação para as plantas em seus processos de desenvolvimento e crescimento. Assim, tornando fundamental a compreensão da interceptação da radiação e a influência da arquitetura do dossel em um SAF. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do dossel estratificado nos fluxos radiativos em um sistema agroflorestal biodiverso no Município de Tomé-Açu, Pará.

## 2. Materiais e métodos

### 1. 2.1. Área de estudo

O local de estudo é um sistema agroflorestal, denominado como SAF-Dendê, que é composto por linhas duplas de palma de óleo (espaçamento de 7,5 m entre linhas e 9,0 m entre plantas) intercaladas por faixas (21 m de largura) com linhas quintuplas de cacau, açaí e espécies florestais no município de Tomé-Açu, Pará. E em fevereiro de 2019 foi instalada uma torre de observações micrometeorológicas (2°24'15" S e 48°14'53,3" O) com 22 metros de altura para medir e monitorar variáveis meteorológicas acima e abaixo do dossel vegetal.

O clima do município é tropical quente e úmido, do tipo Am, segundo Köppen. A precipitação média anual é de 2300 mm. As médias anuais da temperatura do ar variam entre 21,0 °C e 33,0 °C (PACHECO; BASTOS, 2001). O período sazonal foi definido com base no limiar de 150 mm para a palma de óleo (CARR, 2011), como a espécie mais restritiva para precipitação mensal. O ano de 2022, que é reportado nesse estudo, apresentou uma precipitação total de 2584,27 mm. Desse total, cerca de 80,45% foram distribuídos entre os meses de janeiro-maio e dezembro, que foram considerados como o período chuvoso (PC). E, 19,55% foi distribuído nos meses de junho-novembro, sendo o período menos chuvoso (PMC).

### 1. 2.2. Variáveis meteorológicas

As variáveis medidas acima e abaixo do dossel foram: precipitação (21 m de altura), radiação de onda curta incidente ( $ROC_{in}$ , a 19 m de altura); radiação fotossinteticamente ativa incidente ( $RFA_{in}$ , a 19 m, 5,0 m, e 2,0 m de altura) e radiação fotossinteticamente ativa refletida ( $RFA_{ref}$ , a 19 m de altura). As medições foram registradas a cada 60 segundos, e as médias foram geradas a cada 30 minutos. Os dados obtidos passaram por controle de qualidade com a retirada das medidas espúrias com base nos limites físicos para o sítio.

### 1. 2.3. Distribuição da radiação fotossinteticamente ativa

A distribuição vertical da radiação no dossel foi avaliada através da: transmitância (radiação transmitida,  $t$ ) nas camadas 1 (entre 5 m e 19 m de altura) e 2 (entre 2 m e 5 m de altura); refletância (radiação refletida,  $r$ ) a 19 m de altura; e, fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (absortância), de acordo com Spolador et al., 2006.

### 1. 2.4. Ângulo zenital

O ângulo zenital foi estimado para auxiliar nas análises de refletância e transmitância, conforme Ometto (1981).

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFPA, gisellenerino@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lrd87@gmail.com

<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

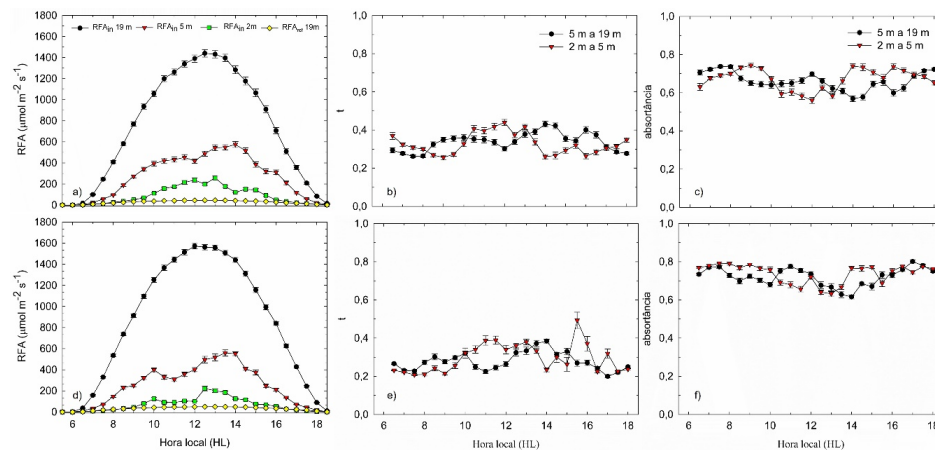
<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

O índice de vegetação melhorado (*Enhanced Vegetation Index* em inglês, EVI) foi determinado a partir das imagens do Satélite Sentinel 2 na área da torre. As imagens, selecionadas uma por mês (totalizando 12), foram obtidas na página do Copernicus Hub com as seguintes características: Sensor MSI (instrumento multiespectral); L2A (correção atmosférica) e *Cloudy\_pixel\_percentage* (filtro para escolher as imagens com menor cobertura de nuvem). As bandas escolhidas foram B2 (azul, 490 nm), B4 (vermelho, 665 nm), e B8 (NIR, 842 nm). Para o cálculo do EVI foi utilizado o programa QGIS 3.16.15 Grass 7.8.5, onde:  $EVI = 2.5 * ((NIR - \text{vermelho}) / ((NIR) + (C1 * \text{vermelho}) - (C2 * \text{azul}) + L))$ . Em que: NIR é o infravermelho próximo. E os valores dos coeficientes foram: C1 é igual a 6, C2 é 7,5 e L é 1.

### 3. Resultados e discussões

No SAF-Dendê, em ambos os períodos,  $RFA_{in}$  a 19 m está presente entre 06:30 horas e 18:30 horas, e com os máximos entre 12:00 e 12:30 horas (Figuras 1a e 1d). Os picos de radiação ocorreram no PMC com  $1571,91 \pm 24,80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 19 m,  $559,68 \pm 24,46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 5 m e  $221,95 \pm 21,04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 2 m. Durante o mesmo horário (com o máximo de  $RFA_{in}$ ) a radiação que chega até 2 m no PC é cerca de 13,80% e de 6,45% no PMC. Ambos os valores foram superiores ao encontrado em floresta tropical amazônica por Spolador et al. (2006) com 2,1%.



**Figura 1.** Curva média diária de  $RFA_{in}$  e  $RFA_{ref}$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em diferentes alturas (19 m, 5 m e 2 m) em (a) e (d); transmitância,  $t$  em (b) e (e); e absorptância (c) e (f) com a em diferentes níveis em um SAF-Dendê em Tomé-Açu/PA no ano de 2022. Cada círculo representa a média de 30 minutos e a barra vertical indica o erro padrão. As figuras (a), (b) e (c) representam o PC e as figuras (d), (e) e (f) o PMC.

Ao longo do dia, as transmitâncias estiveram, aproximadamente, entre 0,2 e 0,5 no PC e PMC (Figuras 1b e 1e). Os máximos no PC ocorreram entre 12:00 e 14:00 horas, de 5 m a 19 m foi de  $0,43 \pm 0,01$  às 14:00 horas e de 2 m a 5 m foi de  $0,44 \pm 0,02$  às 12:00 horas. No PMC, entre 5 m e 19 m o máximo foi de  $0,38 \pm 0,01$  às 14:00 horas e a de 2 m a 5 m foi de  $0,49 \pm 0,01$  às 15:30 horas. O manejo (poda, por exemplo) e arquitetura do dossel influenciam na qualidade e quantidade de luz transmitida para o dossel das plantas agrícolas e forrageiras (ALVES et al., 2015). Em plantios de coco entre 10 e 20 anos, a transmissão de radiação é em torno de 10% (NAIR, 1993). Enquanto, em SAF com cacau, em uma abertura de dossel entre 11,6% e 28,9%, a fração transmitida de luz é em torno de 15% (NEITHER et al., 2018).

No PC, absorptância variou entre  $0,57 \pm 0,01$  às 14:00 horas e  $0,74 \pm 0,01$  às 07:30 horas na camada de 5 a 19 m. E na camada de 2 a 5 m, o mínimo foi de  $0,56 \pm 0,02$  às 12:00 horas e o maior valor encontrado foi de  $0,74 \pm 0,01$  às 09:00 horas (Figuras 1c e 1f). E no PMC, o menor valor registrado para a absorptância entre 5 e 19 m foi

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFPA, giselenerino@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lido87@gmail.com

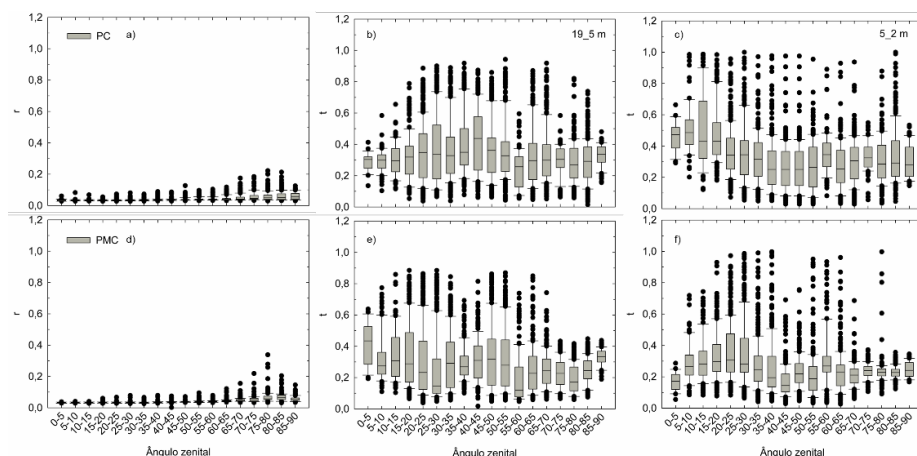
<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

de  $0,62 \pm 0,01$  às 14:00 horas e o máximo foi de  $0,80 \pm 0,01$  às 17:00 horas. E de 2 a 5 m, o mínimo foi de  $0,63 \pm 0,01$  às 13:00 horas e o máximo de  $0,79 \pm 0,00$  às 07:30 horas.

As maiores refletâncias foram determinadas quando os ângulos zenitais também eram maiores (entre 70 e 90°), equivalente aos horários do início da manhã e final da tarde (Figuras 2a e 2d). As transmitâncias em todas as camadas demonstraram valores superiores quando os ângulos zenitais eram menores. Os ângulos zenitais abaixo de 45° representam horários entre 09:30 horas e 14:30 horas (Figuras 2b, 2c, 2e e 2f).



**Figura 2.** Refletância,  $r$ , do topo (19 m) em (a) e (d); transmitância,  $t$ : de 19 m para 5 m em (b) e (e) e de 5 m para 2 m em (c) e (f) em relação ao ângulo solar zenital. Os dados utilizados são as médias a cada 30 minutos e durante o período diurno. Os gráficos representantes do PC estão no painel superior e do PMC no painel inferior.

As estimativas para o EVI não foram satisfatórias para o PC visto que a maior parte das imagens apresentava alta porcentagem de nuvens. A Tabela 1 exhibe os melhores resultados de maio a setembro, cuja maior concentração de áreas ( $m^2$ ) ocorreu nas classes de 0,4-0,6 e 0,6-0,8 indicando uma vegetação saudável e/ou mais densa. A média mensal da absorptância mensal na camada de 5 a 19 m às 10:30 horas, mesmo horário de passagem do satélite, variou de 0,81 (setembro) a 0,88 (julho), exibindo altos valores durante o PMC. E a média mensal do EVI foi explicada em 29% pela absorptância ( $EVI = 0,1946 * \text{absorptância} + 0,4092$ ,  $R^2 = 0,29$ ).

**Tabela 1:** Resultados obtidos para o EVI na escala mensal com a porcentagem de cobertura de nuvem da imagem selecionada e a porcentagem dos pixels contidos em cada classe em um sistema agroflorestal com dendê, Tomé-Açu, Pará.

## Mês

### % nuvem

### Classes do EVI (%)

#### Média

< 0,20

0,20 – 0,40

0,40 – 0,60

0,60 – 0,80

> 0,80

Mai

5,9

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFPA, gisellenerino@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lido87@gmail.com

<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

-

3,09

61,86

35,05

-

0,57

Jun

0,1

-

-

84,02

15,98

-

0,57

Jul

0,1

-

-

51,03

48,97

-

0,59

Ago

0

-

1,55

36,08

62,37

-

0,58

Set

1,1

-

4,12

55,16

40,72

-

0,56

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFRA, gisellenerino@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lrd87@gmail.com

<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

#### 4. Conclusão

Os diferentes estratos e o manejo do SAF influenciaram na distribuição vertical da RFA<sub>n</sub>. Os valores elevados de transmitância ocorreram na camada mais baixa (entre 2 e 5 m) coincidindo com os ângulos zenitais menores (entre 09:30 horas e 14:30 horas) e com a maior densidade de cacaueiros. As refletâncias foram superiores nos ângulos zenitais maiores, início da manhã e final da tarde. E a absorptância ficou entre 0,57 e 0,81, com valores mais altos no período menos chuvoso. Com a análise do EVI, foi observado que a maior porcentagem de área do SAF estava entre as classes de 0,40 a 0,80 indicando uma vegetação sadia e mais densa em um período com redução de precipitação. No entanto, a absorptância às 10:30 horas explica 29% do EVI, demonstrando que o índice tem a capacidade de monitorar o estado da vegetação, mas não apresentou uma boa correlação com os dados da torre.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Alves, F.V.; Laura, V.A.; Almeida, R.G. **Sistemas Agroflorestais: A agropecuária sustentável**. Brasília: Embrapa, 2015, 208p.
- Carr, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): a review. **Experimental Agriculture**, v.47, n.4, p.629–652, 2011.
- Florenzano, T.G. Imagens de satélite para estudos ambientais. **Oficina de textos**, São Paulo/SP, 2002.
- Fontana, D.C.; Berlato, M.A.; Bergamaschi, H. Relação entre o índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.8, p.1399-1405, 1998.
- Nair, P.K. R. Tropical agroforestry systems and practices. In: Furtado, J.I.; Ruddle, K. **Tropical resource ecology and development**, Wiley, 1984, 14p.
- Neither, W.; Armengot, L.; Andres, C.; Schneider, M.; Gerold, G. Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. **Annals of Forest Science**, v.75, n.38, p.1-16, 2018.
- Ometto, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ceres. 1981. 425 p.
- Pacheco, N.A.; Bastos, T.X. **Caracterização climática do Município de Tomé-Açu, PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, 18p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 87).
- Paludo, R, Costabeber, J.A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, n.2, p.63-76, 2012.
- Parker, G.G.; Davis, M.M.; Chapotin, S.M. Canopy light transmittance in Douglas-fir–western hemlock stands. **Tree Physiology**, v.22, p.147–157, 2002.
- Parker, G.G.; Fitzjarrald, D.R.; Sampaio, I.C.G. Consequences of environmental heterogeneity for the photosynthetic light environment of a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.278, 2019.
- Schroth G.; Harvey C.A.; Vincent, G. Complex agroforests: their structure, diversity and potential role in landscape conservation. In: Schroth, G.; Da Fonseca, G.A.B.; Harvey C.A.; Gascon C.; Vasconcelos H.L.; Izac A.M.N. **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Washington: Island Press, 2004, p.227-260.
- Spolador, J.; Sanches, L.; Costa, M.H. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição Cerrado-Amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 301-307, 2006.
- Vilani, M.T.; Sanches, L.; Costa, M.H.; Gaio, D.C.; Nogueira, J.S. Estimativa da absorptância da radiação fotossinteticamente ativa de uma vegetação de transição floresta Amazônica-cerrado por três métodos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.15, n.3, p. 289-298, 2007.

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com

<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFPA, giselenerino@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lido87@gmail.com

<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net

<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br

<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com

**PALAVRAS-CHAVE:** Transmitância, Absortância, Dossel, Distribuição vertical, Amazônia

<sup>1</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, julieandrewsfranca@gmail.com  
<sup>2</sup> Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA/INPA, kaleblimar@gmail.com  
<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFRA, gisellenerino@gmail.com  
<sup>4</sup> Instituto de Pesquisa da Amazônia, INPA, lrd87@gmail.com  
<sup>5</sup> Natura Inovação e Tecnologias de Produtos Ltda, deboracastellani@natura.net  
<sup>6</sup> Embrapa Amazônia Oriental, steel.vasconcelos@embrapa.br  
<sup>7</sup> Embrapa Amazônia Oriental, alessandro.araujo@gmail.com