

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE**

***FLUSH FOLIAR NA ESTAÇÃO SECA EM FLORESTA DE TERRA
FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL VIA WEBCAM***

SUELEN JORGE FELIZATTO MAROSTICA

Manaus, Amazonas

Julho, 2011

SUELEN JORGE FELIZATTO MAROSTICA

***FLUSH* FOLIAR NA ESTAÇÃO SECA EM FLORESTA DE TERRA
FIRME NA AMAZÔNIA CENTRAL VIA WEBCAM**

ORIENTADOR: BRUCE WALKER NELSON

Dissertação apresentada ao
Instituto Nacional de Pesquisas da
Amazônia como parte dos requisitos
para obtenção do título de
Mestre em
Clima e Ambiente

Manaus, Amazonas

Julho, 2011

BANCA DA DEFESA PRESENCIAL

Presidente	Dr. Bruce Walker Nelson (INPA)
Membro Interno	Dr. Lazlo Karoly Nagy (INPA-LBA)
Membro Externo	Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça (INPA)

M354

Marostica, Suelen Jorge Felizatto

Flush foliar na estação seca em floresta de terra firme na Amazônia

Central via webcam/ Suelen Jorge Felizatto Marostica. --- Manaus : [s.n.],2011.

xviii, 18 f. : il. color.

Dissertação(mestrado) -- INPA, Manaus, 2011

Orientador : Bruce Walker Nelson

Área de concentração : Clima e Ambiente

1. Secas(climatologia). 2. Fenologia. 3. *Flush* foliar. 4.*Green-up*. 5. Webcam. I. Título.

CDD 19. ed. 574.52623

Sinopse:

Estudou-se a fenologia foliar de floresta de terra firme na região de Manaus durante transição da estação seca para úmida via webcam. Aspectos como flush foliar, mudanças espectral da foliosidade e variação temporal da área de pixels de madeira exposta foram avaliados.

Palavras-chave: fenologia, *flush* foliar, green up, estação seca, webcam

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Estadual do Amazonas, ao programa LBA e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pela estrutura física e apoio técnico, ao CNPq pela concessão da bolsa e a todos os envolvidos que contribuíram com sugestões na realização deste trabalho.

Resumo

***Flush* foliar na estação seca em floresta de terra firme na Amazônia Central via webcam**

Existe um debate em curso sobre a resposta das florestas na Amazônia às secas extremas e às variações sazonais normais. Observações a partir de um sensor orbital de *green-up* na Amazônia durante a seca de 2005 permanecem controversas, com grande parte do fenômeno atribuído a contaminações por nuvens/aerossóis. Detecção por satélite do *green-up* no sul da Amazônia na estação seca foi atribuída ao artefato de sazonalidade no ângulo solar. Para avaliar mais diretamente as mudanças no dossel de uma floresta de terra firme da Amazônia Central, utilizou-se uma câmera de vídeo com três bandas na faixa do visível, resolução de 1028x720 pixels, fixa 54 m acima do chão da floresta em uma torre de covariância de fluxo, 60 km ao norte de Manaus. A mira da câmera foi ao sul, perpendicular ao trânsito solar, e oblíqua para baixo. Foi desligada a compensação automática de cor (*color-balance*). Ao longo de 134 dias entre o pico da estação seca e o meio da estação chuvosa (23-set, 2010 a 03-fev, 2011), foi capturado um *frame* a cada 10 s. Foi selecionado ~um *frame* por dia, sob iluminação solar difusa, próximo ao meio-dia local e com variação $< +/-10\%$ no brilho geral refletido. A exposição automática da câmera compensou esta variação. As mudanças em greenness e madeirosidade foram medidas usando três abordagens: (1) classificação visual de tipos de transição para todas as árvores que experimentaram mudanças na copa por inteiro, durante o pico da estação seca; (2) médio, em todo o *frame*, do brilho relativo do canal verde; e (3) análise de componentes principais, com dados não padronizados, sobre todo o *frame*, para remover variações espaciais na iluminação (PC1) e estimar a área de madeira exposta (limiar do PC2). Das treze árvores que sofreram uma transição completa da copa na estação seca, onze experimentaram algum estágio de *flush* foliar. O brilho relativo do canal verde mostrou que este *flush* de folhas novas já estava acontecendo no início do estudo e continuou pelo menos até outubro, quando a maturação das folhas causou mudanças na sua coloração, limitando o uso desse indicador. A área de madeira exposta diminuiu abruptamente durante a estação seca e continuou caindo em ritmo menor no decorrer da estação chuvosa. Este indicador foi considerado mais confiável, devido a sua estabilidade espectral. Os resultados deste estudo contribuem para o entendimento da real sazonalidade de greenness da vegetação na Amazônia e sua resposta à fotossíntese.

Palavras-chave: fenologia, *flush* foliar, green up, estação seca, webcam

Abstract

Dry season leaf flush in a Central Amazon *terra firme* forest via webcam

There is an ongoing debate about the response of Amazon forests to extreme and to normal seasonal drought. Satellite observed Amazon green-up during the 2005 drought remains controversial, with green-up attributed by some to cloud/aerosol contamination. Satellite detection of dry-season green-up in years of normal rainfall is also confounded in the southern Amazon by decreasing solar zenith angle. To address these concerns by direct assessment of changes in the forest canopy, a high-resolution (1028x720p) 3-band video camera was mounted 54 m above the forest floor on an eddy covariance tower 60 km north of Manaus. Camera aim was south, perpendicular to the solar transit, with an oblique downward view. Automatic color balance was turned off. For 134 days from the middle of the dry season to mid rainy season (23 Sept, 2010 to 03 Feb, 2011) one frame was captured every 10s. From these, a single frame was chosen per day, obtained under diffuse solar illumination near local noon with minimal variation ($< \pm 10\%$) in overall reflected scene brightness. Auto-exposure of the camera compensated this minor variation. Changes in greenness and woodiness were examined using three approaches: (1) visual classification of transition types for all trees that underwent marked full-crown changes during the dry season; (2) relative green channel brightness averaged over the entire frame; and (3) unstandardized Principal Component Analysis of the entire frame to remove spatial variations in illumination (PC1) and estimate area of exposed bark (threshold of PC2). Of 13 trees that underwent full-crown transitions in the first month (dry season), 11 were experiencing some stage of leaf flush. Relative brightness of the green channel over the entire frame showed that a flush of new leaves was already taking place at the beginning of the study and continued at least into October, when leaf maturation caused changes in leaf colors, limiting the usefulness of this indicator. The area of exposed bark decreased steeply during the mid-dry season leaf flush and further suggested that leafing-out continued at a slower pace into the rainy season. Due to spectral stability of exposed bark over time, this is a more reliable indicator of leaf phenology than the leaves themselves. The results of this study contribute an understanding of what controls seasonality of vegetation greenness in Amazonia and its photosynthesis response.

Keywords: phenology, leaf flush, green up, dry season, webcam

Sumário

1. Introdução	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo geral.....	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Material e métodos	2
3.1. Área de estudo.....	2
3.2. Coleta de dados	3
3.3. Análise de dados	3
4. Resultados	5
5. Discussão	7
6. Conclusões	10
7. Referências bibliográficas	10
8. Anexos	13

1. Introdução

Modelos climáticos globais sugerem que as mudanças climáticas podem aumentar a frequência de eventos extremos de seca na Amazônia, com efeitos em ecossistemas e em populações humanas (Cox *et al.*, 2008). O aumento do índice de vegetação EVI durante a seca intranual normal (Huete *et al.*, 2006) e durante secas extremas interanuais, como a de 2005 (Saleska *et al.*, 2007) têm sido associada com o *flush* de folhas novas devido à relação positiva com a produção primária bruta (GPP), derivado de medidas de torre de fluxo na Amazônia (Huete *et al.*, 2006). Brando *et al.* (2010) sugerem que a seca poderia aumentar o EVI, pois este é sensível ao *flush* de folhas novas e o aumento de radiação solar estimula a quebra de dormência das gemas foliares (Wright & van Schaik, 1994). O brotamento poderia levar a um aumento da capacidade fotossintética do dossel (Rahman *et al.*, 2005) durante a época seca com maior disponibilidade de luz (Huete *et al.*, 2006; Bradley *et al.*, 2011) e a abscisão de folhas teria lugar durante a estação úmida nublada (Myneni *et al.*, 2007), embora ambos os processos podem ser simultâneos em várias árvores tropicais.

Controversamente, Samanta *et al.* (2010) reportaram diferenças com respeito à área e intensidade do aumento de EVI em 2005, alegando contaminação por nuvens e areossóis nos produtos MODIS. Além disso, estudos mais recentes tem apontado influência da diminuição do ângulo solar zenital no aumento do EVI ao longo da estação seca no sul da Amazonia, independente das mudanças na folhagem do dossel (Galvão *et al.*, 2011). Anderson *et al.* (2010) avançaram a hipótese de aumento no EVI associado com a *perda* de folhas por árvores emergentes – mais sensíveis à seca (Nepstad *et al.*, 2007) – pois as sombras das emergentes seriam atenuadas.

Em meio a tantas controvérsias, a fenologia foliar da Amazônia tem atraído atenção, pois eventos de flush foliar podem ser indicadores dos efeitos das mudanças climáticas. Em florestas temperadas, as webcams oferecem um meio barato de avaliar as mudanças fenológicas no estado do dossel (Richardson *et al.*, 2007; Richardson *et al.*, 2009). O potencial dessa ferramenta moderna de monitoramento fenológico tem sido explorado mais recentemente em ambientes temperados especialmente a título de comparação com produtos de sensores de maior resolução espacial (Bradley *et al.*, 2010; Riordan *et al.*, 2010) a fim de obter indicadores para interpretação de processos baseados em escala de ecossistema (Ahrends *et al.*, 2009; Morissete., 2009; Richardson *et al.*, 2007), bem como a predição desses processos através de modelagem matemática (Bradley *et al.*, 2010).

Diante da sazonalidade típica da Amazônia Central, sugere-se que o flush de folhas novas em plena estação seca estaria sendo limitado mais por luz do que por água (Huete *et al.*, 2006; Myneni *et al.*, 2007; Nepstad *et al.*, 2007; Saleska *et al.*, 2007). Aqui examinamos o potencial das webcams para medir a sazonalidade foliar em uma floresta tropical não-decidual. A questão central do trabalho fundamenta-se na resposta das árvores a fatores climáticos tais como o aumento de stresse hídrico na estação seca e a diminuição deste stresse no período chuvoso, bem como o aumento da radiação solar fotossinteticamente ativa na estação seca e a diminuição deste recurso no período chuvoso.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Avaliar variações temporais na fenologia foliar de floresta de terra firme na Amazônia Central a partir do dossel via método óptico.

2.2. Objetivos específicos

- i) Implementar um sistema de coleta, transmissão e armazenamento de dados (torre de covariância de fluxo K-34 e escritório central do LBA) para monitoramento de fenologia foliar de uma floresta de terra firme próxima à Manaus a partir de uma câmera de vídeo RGB de alta resolução;
- ii) Desenvolver métodos para avaliar variações temporais na fenologia foliar da floresta nas proximidades da torre K-34 e quantificá-las em escala de copa e dossel durante transição de estação seca para chuvosa a partir do referido sistema;
- iii) Correlacionar visualmente as variações na fenologia foliar da floresta com variação dos dados de precipitação, umidade do solo e radiação fotossinteticamente ativa incidente.

3. Material e métodos

3.1. Área de estudo

Este trabalho foi conduzido na Reserva Biológica do Rio Cuieiras, a 60 km de Manaus, acesso pela rodovia BR-174. A área de estudo é representativa de uma porção de Floresta de Terra Firme da Amazônia Central, cerca de 100 m acima do nível do mar. A temperatura média anual é de 26°C (mínima 19°C e máxima de 39°C). A precipitação anual varia entre 1800 e 2800 mm, sendo fevereiro, março e abril os meses mais chuvosos e julho, agosto e setembro os meses mais secos. A topografia é caracterizada por áreas planas de platôs

recortados por riachos e igarapés, com desnível de cerca de 60 metros. Sedimentos de idade terciária compõem os latossolos argilosos nos platôs, espodossolos arenosos nos baixios e argilosos arenosos nas vertentes.

3.2. Coleta de dados

O aparato para registro de dados fenológicos montado na torre é composto por uma câmera de vídeo marca Stardot, modelo Netcam XL 3MP com bandas RGB, cuja resolução nativa é de 1024x768 pixels (sem interpolação), lente varifocal zoom - grande angular (LEN-MV4510CS), casa de proteção ventilada resistente ao tempo e à entrada de insetos, fonte de 2 ampéres e 12 volts. A própria câmera possui sistema interno que permite configurar um servidor TCP/IP para envio das imagens através da rede estabelecida entre a Torre K34-ZF2 e o INPA. Os dados são recebidos em Manaus pelo cliente ftp, um netbook com Windows 7 e 1GB de memória RAM. A câmera foi fixada no topo da Torre K-34 (2.60907 deg S, 60.20913 deg W), a 54 m acima da superfície, seu ângulo de visada foi centrado em 32° de depressão apontando para uma área de platô na direção sul, perpendicular ao trânsito solar. O frame cobre 66° horizontalmente e 57° verticalmente e não inclui áreas de céu. O sistema foi configurado para captura e envio de um *frame* a cada 10 segundos, no formato JPG menos comprimido possível; modo auto-exposição ligado, abertura do diafragma fixa e pequena e a função de compensação de cores desligada. A série de dados utilizada para este estudo corresponde às imagens capturadas sob luz solar difusa entre 11:00 e 13:00h, durante a transição da estação seca para úmida e compreende o período entre 23 de setembro de 2010 a 03 de fevereiro de 2011. Foram escolhidas imagens com valores de brilho refletido pelo dossel* na faixa de 500 +/- 10%. Esta variação no fluxo radiante foi compensada pela função de auto-exposição da câmera.

3.3. Análise de dados

Variações temporais na fenologia foliar do dossel, *flush* de folhas novas, mudanças em *greenness* e na *woodiness* foram medidos usando três abordagens: (1) classificação visual dos

* Há uma relação inversa, entre o valor de brilho refletido pelo dossel gravado nos metadados de cada frame e o fluxo radiante que atinge o plano focal, que depende do tipo de lente, de seu comprimento focal e da abertura do diafragma (todas fixas ao longo do experimento). Em 30 de setembro, um valor de brilho de 175 corresponde à energia refletida pelo dossel iluminado por luz solar direta ao meio dia; um valor de 280 corresponde à luz direta refletida às 09:00h e um valor de 700 corresponde à luz direta refletida às 07:00h.

tipos de transição para aquelas árvores passando por uma mudança completa da copa nos primeiros 30 dias do estudo (estação seca), (2) brilho relativo do canal verde, (equação a), e (3) Análise de Componentes Principais, usando dados não padronizados (possuem distribuição normal), usando o método de variância/covariância, de todo o *frame*, para remover as variações espaciais na iluminação (PC1) e estimar a área de madeira exposta iluminada (equação b). As diferenças espaciais na intensidade e na direção da iluminação foram reduzidas ao adotar o critério de uso das imagens capturadas sob céu nublado entre 11:00 e 13:00h. Para tratar da variação temporal utilizou-se o aplicativo Idrisi versão Andes. Entre os *frames* e dos objetos dentro dos *frames* adotou-se a média dos valores dos pixels em cada *frame* para a análise 2 e a porcentagem dos pixels acima de determinado limiar, para a análise 3 acima. O movimento da torre e das árvores no vento impediu o uso de subtração de imagens ou outra avaliação do comportamento temporal de cada pixel. As abordagens utilizadas nesse estudo são descritas a seguir:

1) Para quantificar as variações temporais em nível de copa durante a estação seca, foram selecionadas aquelas que, entre 23 de setembro e 22 de outubro de 2010, experimentaram uma mudança completa das folhas, classificadas em quatro tipos de transição: a) de galhos expostos para folhas verdes jovens densas; b) de folhas verdes esparsas para folhas verdes jovens e densas; c) de folhas maduras para folhas jovens avermelhadas e d) de folhas maduras para galhos expostos. As três primeiras transições foram consideradas alguma fase de *flushing*.

2) O brilho relativo do canal verde para avaliação da tonalidade média da vegetação ao longo do tempo, é conceituado pela equação a:

$$Frac\tilde{a}o\ verde = \frac{\sum_1^n \left(\frac{DN\ banda\ verde}{DN\ total\ R + G + B} \right)}{n\ pixels\ por\ frame} \quad (a)$$

3) PC2 da Análise de Componentes Principais (PCA). Os valores mais altos de PC2 identificam madeira exposta (Fig. 1). Para cada data, o limiar de PC2 mais adequado foi escolhido entre quinze imagens booleanas ($PC2 \geq 20, 21, 22 \dots 35$). Áreas da imagem com quantidade de madeira exposta invariante no tempo foram usadas para esta escolha, tendo como padrão de referência uma imagem booleana ($PC2 \geq 25$), de 11 de novembro de 2010.

$$Frac\tilde{a}o\ madeira = \frac{pixels\ de\ madeira\ do\ PC2}{n\ pixels\ por\ frame} \quad (b)$$

O PCA foi executado separadamente em cada imagem. A primeira componente principal (PC1) das três bandas originais (Red, Green e Blue) é relacionada ao gradiente de brilho total dos três canais (R+G+B). De acordo com a teoria de PCA, as componentes PC2 e PC3 são em grande parte livres desse efeito.

Para explorar a correlação visual entre os indicadores de fenologia foliar e as variáveis ambientais registradas na torre, foram utilizados dados de precipitação de um pluviômetro, chuva acumulada em cada 24h (ARG-100, Environmental Measurements); umidade do solo a partir de sonda perfiladora, medida cada 30 min (PR1, Delta-T Instruments); e a radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR) a partir de sensor quântico, fluxo médio em cada intervalo de 30 min (LI-190, SZ LI-COR). Todos foram disponibilizados pelo Laboratório de Micrometeorologia do LBA/INPA.

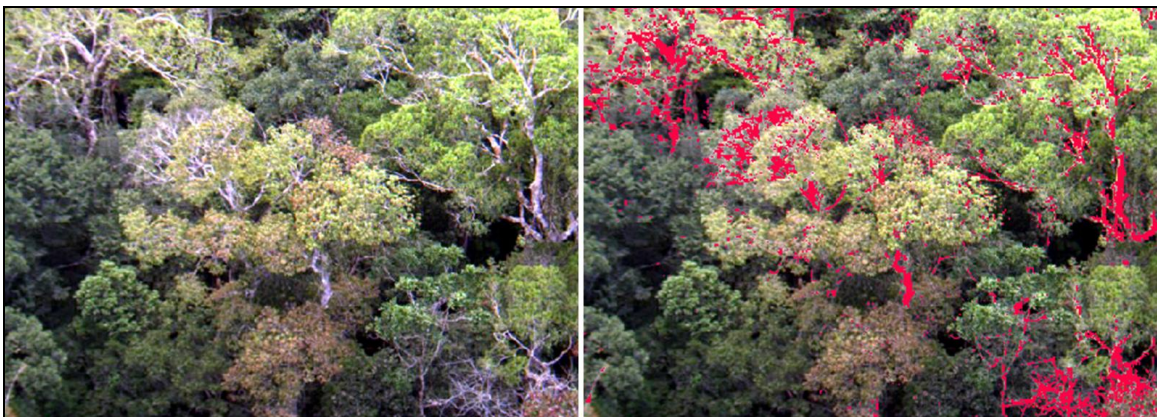


Figura 1. Parte do dossel na imagem RGB selecionada para o dia 23 de setembro de 2010 (esquerda) e área de madeira exposta identificada por limiar do PC2 sobreposta em vermelha sobre a mesma imagem (direita).

4. Resultados

O final da estação seca é marcado por um rápido *flush* de folhas novas, encobrindo espaços antes ocupados por galhos e troncos expostos e iluminados. No início da estação chuvosa, a quantidade de folhas continua a aumentar de forma mais gradual e a paisagem passa a ser dominada por uma tonalidade verde escuro nas últimas imagens da série de dados, mostrando uma tendência estável. Mudanças acentuadas ocorrem nas primeiras duas semanas do período observado (Fig. 2). A fração verde atinge um pico entre os dias julianos 280 e 290 (entre 7 e 17 de outubro). Em anos normais este pico ainda seria na plena estação seca. Embora visualmente evidente nas imagens, o incremento até o pico foi de apenas 1.2% na fração verde, passando de 39.9% para 41.1%.

Após o dia juliano 290, a fração verde apresenta tendência decrescente, o que induz a acreditar que a quantidade de folhas está diminuindo. No entanto, concomitante a este fato, a área de madeira exposta deveria aumentar após o dia 290. A área de madeira exposta diminuiu abruptamente durante a temporada de *flush* foliar na estação seca, e continuou caindo de forma mais suave após o dia 290. Isto indica que a carga de folhas continuou aumentando na estação chuvosa, embora em ritmo menor (Fig.2). A porcentagem do frame ocupada por madeira exposta iluminada diminuiu cerca de 1.5% ao longo de todo o estudo, com a maior parte desta queda durante o *flush* foliar das primeiras três semanas.

A comparação visual entre as imagens de 23 de setembro e 22 de outubro indicou 13 copas sofrendo transições maçicas (Fig.3). As diferentes classes de transição entre estágios de fenologia foliar foram: a) 5 copas com madeira exposta que evoluíram para folhas verdes jovens densas; b) 4 copas com folhas verdes jovens esparsas que evoluíram para folhas verdes jovens densas; c) 2 copas com folhas maduras que evoluíram para folhas jovens avermelhadas e, d) 2 copas com folhas maduras que passaram a ser decíduas. Portanto 11 das 13 copas exibiram transições típicas de algum estágio de *flush* foliar (tipos a, b & c) e apenas duas exibiram queda de folhas. No entanto, apenas as transições (a) e (b) devem contribuir para a elevação da fração verde, enquanto as quatro copas das transições (c) e (d) devem diminuir a sua fração verde.

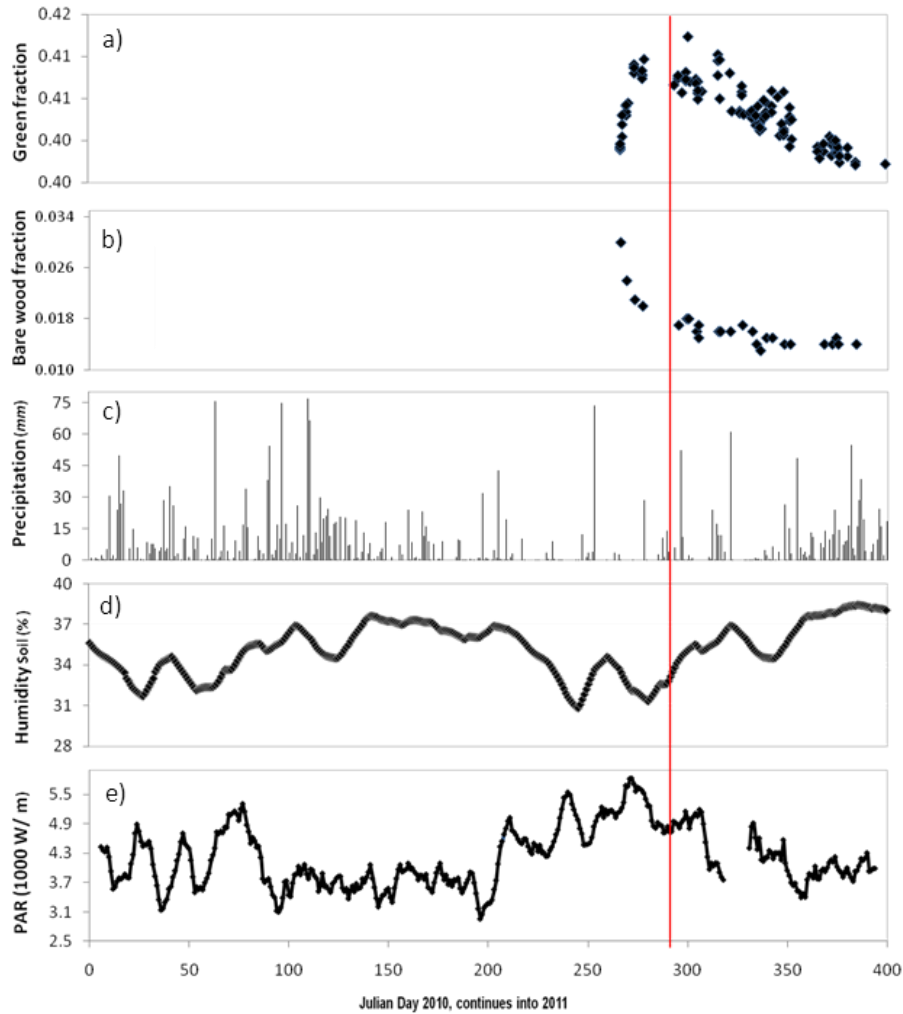


Figura 2: Variação temporal de a) Fração verde; b) Fração madeira exposta; c) precipitação diária (mm); d) umidade do solo nos primeiros 100 cm de profundidade (%), suavizada pela média corrente de 11 dias), e) radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente (10^3 W/m^2). Os dias julianos no eixo x começam em 01-jan, 2010 (dia 0) indo para 03-fev, 2011 (dia 400). A série de imagens corresponde ao período entre 23-set, 2010 (dia 266) e 03-fev, 2011 (dia 400). A linha vermelha corresponde ao ponto em que a fração verde se torna decrescente.

Embora o *flush* foliar tenha ocorrido em um período que normalmente seria a plena estação seca, um dos cinco dias mais chuvosos registrados em 2010 ocorreu apenas duas semanas antes do início do estudo. A umidade do solo foi elevada por este evento de chuva. Os dados mostram que o abrupto aumento na fração verde e a queda da madeira exposta, coincidem com o pico sazonal de PAR incidente. Ao longo dos quatro meses, a energia PAR incidente mostra uma relação positiva com a madeira -- ou seja, uma relação inversa com a quantidade de folhas no dossel -- mas não exibe relação com a fração verde.

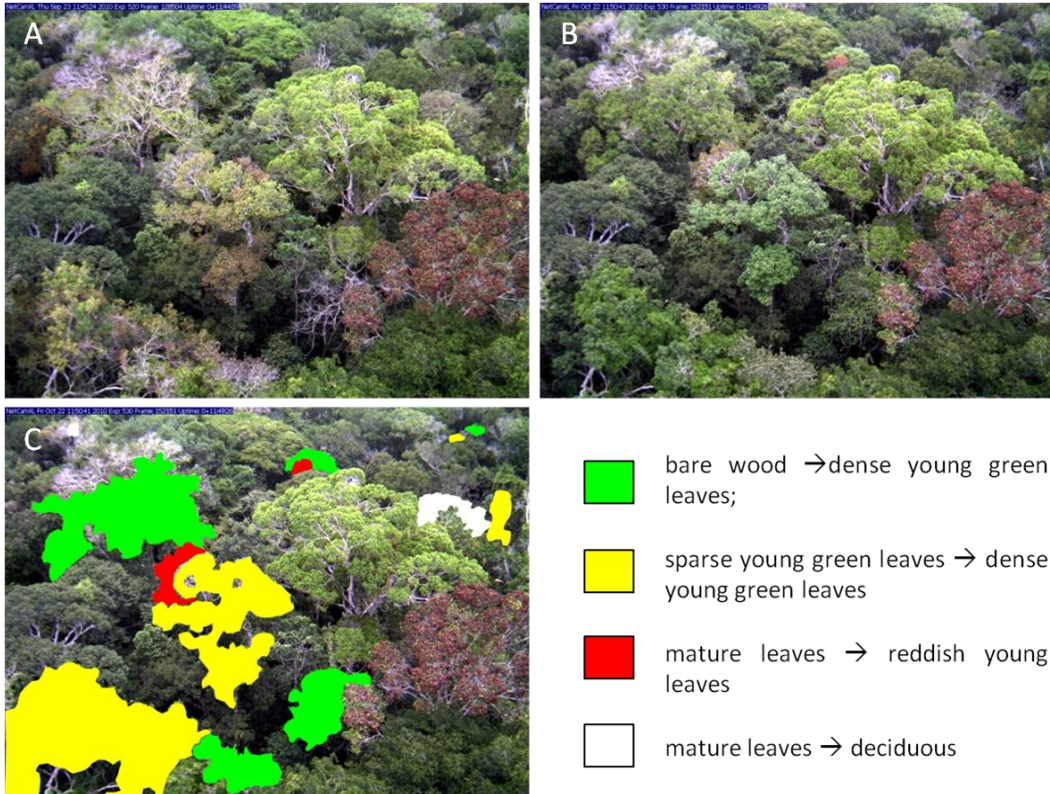


Figura 3: Imagem (a), capturada em 23-set, 2010, comparada com imagem (b), capturada em 22-out, 2011 evidenciando o *flush* de novas folhas recobrendo áreas antes ocupadas por madeira exposta. A imagem (c) ilustra as 13 copas que experimentaram um dos quatro tipos de alteração maçica.

5. Discussão

Apesar da pequena variação na área do dossel ocupada por folhas (amplitude total de mudança no tempo < 2%), a câmera com apenas três bandas na faixa do visível foi capaz de detectar e quantificar mudanças sutis na fenologia foliar de floresta de terra firme, utilizando as abordagens *greenness* e *woodiness*.

Foram avaliados os resultados para fração verde ao longo de 4 meses, segregados em quatro classes representando os quatro intervalos de 30 minutos (1100-1130, 1131-1200, 1201-1230, 1231-1300) e não foi detectado nenhum viés neste indicador em função da hora de observação. A escolha da banda verde ocorreu após análise da alocação de objetos no espaço de bandas nos diagramas de dispersão das frações verde, azul e vermelha. As bandas azul e vermelha mostram-se mais sensíveis ao grau de iluminação dos objetos dentro da cena. A banda verde descreve melhor cascas de madeira, sendo que baixos valores de fração verde representam madeira e altos valores representam folhas. No entanto, as folhas não são bem isoladas no espaço das três frações, pois as folhas não exibem uma única cor verde, mas sim diferentes cromas e saturações associadas com os pigmentos (Fig.3). Nos meses após um

flush foliar, ocorrem mudanças espectrais relacionadas à idade média das folhas e respectiva colonização por epífilos (Toomey *et al.*, 2009; Roberts *et al.*, 1998).

Na faixa do Infravermelho próximo (NIR), os pigmentos não interferem na refletância, embora a presença de epífilos ainda afeta a refletância. Na falta de uma banda NIR, a porcentagem da imagem ocupada por madeira exposta é um indicador melhor de mudanças sazonais da quantidade de folhas no dossel do que a fração verde. Os pixels de madeira exposta são espectralmente mais estáveis no tempo. A ausência de uma banda NIR impede a comparação direta entre os resultados obtidos aqui e resultados de estudos realizados na Amazônia que utilizam índices de vegetação (Samanta *et al.*, 2010; Saleska *et al.*; 2007; Huete *et al.*; 2006).

Para as análises do presente trabalho fez-se uso dos valores de Número Digital (DN) que representa a propriedade física de Radiância escalonada linearmente para valores de 0 a 255. Porém não se sabe a equação desta reta devido ao uso da auto-exposição. Tampouco, é possível calcular a Refletância em cada pixel pois a energia incidente em cada banda não é medida na torre. É possível uma transformação direta de DN para refletância, dispensando a transformação de DN para radiância como passo obrigatório. Seria necessário incluir um alvo 100% reflectante em cada imagem e que todas as partes da imagem recebam a mesma iluminação que este alvo recebe. A segunda condição não é satisfeita devido à variação espacial no fluxo radiante incidente sobre os diferentes pixels da imagem ao longo do tempo. A variação da orientação do plano do alvo relativo ao Sol durante seu trânsito pelo céu também afetaria o cálculo correto de Refletância.

A escolha do limiar do PC2 é diferente em cada imagem e é feita por uma avaliação visual, usando áreas de madeira exposta invariante. Entretanto, técnicas automáticas de medir os pixels ocupados por madeira exposta estão sendo testadas e poderão substituir a avaliação visual em análises futuras. Enfrentamos dificuldades no uso de PC2 para isolar madeira exposta, quando foi incluída uma árvore próxima à torre, cuja copa foi dominada por frutos lenhosos persistentes de cor vermelha. Esta árvore foi mascarada em todas as análises de PCA e de fração verde. Copas que venham a apresentar flores brancas ou vermelhas no futuro podem apresentar problemas similares. A componente PC1 também não está relacionada exclusivamente com a luminosidade total. Ela inclui um pouco de informação espectral. Duas tentativas menos subjetivas de identificar a área de madeira exposta também foram testadas, sem resultados satisfatórios: (1) o classificador supervisionado de máxima verossimelhança e

(2) uma transformação linear idêntica em todas as imagens, baseada na PC2 de uma imagem padrão.

Os resultados obtidos aqui, em escala local, acusam um pico de *flush* de folhas novas no final da estação seca, concordante com as observações de Huete *et al.* (2006) em anos de seca normal e contrastante com resultados de Xu *et al.* (2011), que observaram um declínio nos índices de vegetação NDVI e EVI do MODIS para a região de Manaus durante a estação seca de 2010. Entretanto, o padrão observado não pode ser atribuído à severidade da seca de 2010 (Lewis *et al.*, 2011), ao menos para a região da torre K-34, já que, durante o período que antecede o *flush* foliar houve uma das maiores precipitações registradas no ano, levando a um aumento da umidade do solo.

Conforme descrito por Myneni *et al.* (2007), o flush foliar observado no presente estudo corresponde à estação com máxima disponibilidade de PAR incidente. Considerando que foram utilizadas apenas imagens com luz difusa, o padrão observado não parece ser um artefato do ângulo zenital solar (Galvão *et al.*, 2011; Anderson *et al.*, 2011). Porém, é prematuro tratar os padrões detectados aqui como representativos. Poucas copas são enquadradas nas imagens analisadas, devido à altura de apenas 54 m. Foram avaliados apenas quatro meses de dados. Portanto, este trabalho deve ser encarado como uma avaliação da qualidade do instrumento e das técnicas de análise apresentadas. Novas técnicas de análise dos dados deverão ser exploradas tais como Árvore de Decisão, atributos dos histogramas e combinações de novas bandas derivadas como: Intensidade, Cromo e Saturação. A câmera permanece instalada na torre. Em dezembro de 2011, quando completará 15 meses de imagens e duas estações secas, será possível analisar com mais confiança os padrões sazonais de foliosidade e suas relações com atributos ambientais, inclusive levando em consideração as estratégias ou comportamentos sazonais de cada espécie através de coletas botânicas.

6. Conclusões

A variação da área do dossel ocupada por folhas é muito sutil na Região Central da Amazônia, mas pode ser detectada sem a banda do NIR. A área do dossel ocupada por madeira exposta é um atributo mais confiável para se estimar a área com folhas.

O pico sazonal de fração verde média dos *frames* e a queda abrupta de área de madeira exposta coincidem com o pico sazonal de radiação fotossinteticamente ativa, mas não podem ser atribuídos à intensidade da seca de 2010 devido à expressiva precipitação e recarga hídrica do solo nos dias antecedentes ao *flush* foliar.

O progressivo declínio na fração verde a partir de outubro não é atribuído a uma mudança na área do dossel ocupada por folhas, mas sim a uma mudança na coloração das folhas, pois o declínio da fração verde não foi acompanhado por um aumento na madeira exposta.

Ainda é prematuro tratar os padrões detectados aqui como representativos. Considerando o pequeno número de copas enquadradas e o breve período de estudo, este trabalho deve ser encarado como uma avaliação da qualidade do instrumento e das técnicas de análise apresentadas.

7. Referências bibliográficas

- Ahrends, H.E.; Etzold, S.; Kutsch, W.L.; Stoeckli, R.; Bruegger, R.; Jeanneret, F.; Wanner, H.; Buchmann, N. and Eugster, W. Tree phenology and carbon dioxide fluxes: use of digital photography at for process-based interpretation the ecosystem scale. *Climate Research*, vol. 39(3): 261-274.
- Anderson, L.O., Malhi, Y.; Aragão, L.; Ladle, R.; Arai, E.; Barbier, N. and Phillips, O. (2010), Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies, *New Phytologist*, vol. 187(3), 733-750.
- Bradley, E.S.; Toomey, M.O.; Christopher, J. and Roberts, D.A. (2010) Multi-Scale sensor fusion with an outline application: integrating GOES, MODIS, and webcam imagery for environmental monitoring. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 3(4), 497-506.
- Bradley, A.V; Gerard, F.F.; Brabier, N.; Graham, P.W.; Anderson, L.; Huntingford, C.; Aragão, L.E.O.; Zelazowski, P. and Arai, E. (2011). Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/1365-2486.
- Bradley, E.; Roberts, D. and Still, C. (2010). Design of an image analisys website for phonological and meteorological monitoring. *Environmental Modeling & Software*, vol. 25(1): 107-116.
- Brando, P.M., Goetz, S.J., Baccini, A., Nepstad, D.C., Beck, P.S.A., & Christman, M C. (2010). Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107(33), 14685–14690.
- Cox PM, Harris PP, Huntingford C, Betts RA, Collins M, Jones CD, Jupp TE, Marengo JA, Nobre CA. (2008). Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453: 212–215.
- Galvão, L.S.; dos Santos, J.R.; Roberts, D.A.; Breunig, F.M.; Toomey, M. and de Moura, Y.M. (2011). On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forest: A case study with MODIS and hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 115: 2350-2359.
- Huete, A.r.; Didan, K.; Shimabukuro, Y.E.; Ratana, P.; Saleska, S.R.; Hutyra, L.R. ; Yang W.; Nemani, R.R. And Myneni, R. (2006). Amazon raiforests green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, vol. 33.
- Lewis, S. L.; Brando, P. M.; Phillips, O. L.; van der Heijden, G.M.F. and Nepstad, D. (2011). The 2010 Amazon drought, *Science*, vol. 331(6017), 554-554.
- Morissette, J.T.; Richardson, A.D.; Knapp, A.K.; Fisher, J.I.; Graham, E.A.; Abatzoglou, J.; Wilson, B.E.; Breshears, D.D.; Henebry, G.M.; Hanes, J.M. and Liang, L. (2009). Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phonological research in the 21st century. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 7(5): 253-260.

- Myneni, R.B., Yanga, W., Nemani, R.R., Huete, A.R., Dickinson, R.E., Knyazikhin, Y., Didan, K., Fu, R., Juárez, R.I.N., Saatchi, S.S., Hashimoto, H., Ichii, K., Shabanov, N.V., Tan, B., Ratana, P., Privette, J.L., Morisette, J.T., Vermote, E.F., Roy, D.P., Wolfe, R.E., Friedl, M.A., Running, S.W., Votava, P., El-Saleous, N., Devadiga, S., Su, Y. & Salomonson, V.V. (2007). Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104(12), 4820–4823.
- Nepstad, DC, Tohver, IM, Ray, D, Moutinho, P, Cardinot, G. (2007). Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazonian forest. *Ecology*, 88(9), 2259–2269. Rahman AF, Sims DA, Cordova VD, El-Masri BZ. (2005). Potential of MODIS EVI and surface temperature for directly estimating per-pixel ecosystem C fluxes. *Geophysical Research Letters*, vol. 32.
- Richardson, A.D.; Jenkins, J.P.; Braswell, B.H.; Hollinger, D.Y.; Hollinger, S.V. And Smith, M-L. (2007). Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. *Oecologia*, vol. 152:323–334.
- Richardson, A.D.; Braswell, B.H.; Hollinger, D.Y.; Jenkins, J.P and Ollinger, S.V. (2009). Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology. *Ecological Applications*, vol. 19:1417-1428.
- Riordan, E.C.; Graham, E.A.; Yuen, E.M.; Estrin, D. and Rundel, PW. (2010). Utilizing public internet-connected cameras for a cross-continental plant phenology monitoring system. *International Geoscience and Remote Sensing*, vol. 16(11): 1501-1504.
- Roberts, D.A.; Nelson, B.W., Adams, J. B., & Palmer, F. (1998). Spectral changes with leaf aging in Amazon Caatinga. *Trees*, vol. 12, 315–325.
- Saleska, S.R.; Didan, K.; Huete, A.R. And da Rocha H.R. (2007). Amazon forests green-up during 2005 drought. *Science*, vol. 318.
- Samanta, A.; Ganguly, S.; Hashimoto, H.; Devadiga, S.; Vermote, E.; Knyasikhin, Y.; Nemani, R.R. and Myneni, R.B. (2010). Amazon forests did not green-up during the 2005 drought. *Geophysical Research Letters*, vol. 37.
- Toomey, M., Roberts, D., & Nelson, B. (2009). The influence of epiphylls on remote sensing of humid forests. *Remote Sensing of Environment*, vol. 113(8), 1787–1798.
- Wright, S.J., van Schaik, C.P. (1994). Light and the phenology of tropical trees. *American Naturalist*, 143:192–199.
- Xu, L.; Samanta, A.; Costa, M.H.; Ganguly, S.; Nemani, R.R. and Myneni, R. B. (2011). Widespread Decline in Greenness of Amazonian Vegetation due to the 2010 Drought. *Geophysical Research Letters*, vol. 38.

ANEXOS



UEA
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DO
AMAZONAS

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS-UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE

INPA
INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISA DA AMAZÔNIA



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
SUELEN JORGE FELIZATTO MAROSTICA
ALUNA DO CURSO DE MESTRADO EM
CLIMA E AMBIENTE.

Aos 28 dias do mês de julho do ano de 2011, às 09:00 horas, realizou-se na sala de aula do PPG-CLIAMB do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, sito à Avenida André Araújo n.º. 2936, a sessão de defesa pública da dissertação de Mestrado da aluna Suelen Jorge Felizatto Marostica, sob o título “Flush Foliar na Estação Seca em Floresta de Terra Firme na Amazônia Central Via Webcam”, em complemento aos critérios exigidos para obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente, tendo como orientador o Professor Doutor Bruce Walker Nelson, segundo encaminhamento do Coordenador do Programa de Pós-Banca Julgadora foi composta pelos seguintes membros: Professor Doutor Bruce Walker Nelson (Presidente), Professor Doutor Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça (Membro Externo) e Professor Doutor Laszlo Karoly Nagy (Membro Interno). **Parecer:** Encerrando os trabalhos, os membros da Banca Julgadora APROVARAM a dissertação.

Prof. Dr. Bruce Walker Nelson (INPA)
Presidente

Prof. Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça (INPA)
Membro Externo

Prof. Dr. Laszlo Karoly Nagy (INPA-IBA)
Membro Interno