



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA-PPGRNA

**ESTUDO DA FENOLOGIA DA FLORESTA TROPICAL E ATIVIDADE NO
CRESCIMENTO INDIVIDUAL DAS PLANTAS ATRAVÉS DO SISTEMA DE
IMAGEAMENTO TERRESTRE**

KLEBER SILVA CAMPOS

Santarém - PA
2015

KLEBER SILVA CAMPOS

ESTUDO DA FENOLOGIA DA FLORESTA TROPICAL E ATIVIDADE NO
CRESCIMENTO INDIVIDUAL DAS PLANTAS ATRAVÉS DO SISTEMA DE
IMAGEAMENTO TERRESTRE

ORIENTADOR: DOUTOR RODRIGO DA SIVA

Tese de dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais.

Área de concentração: Estudos de Ecossistemas Amazônicos. Linha de Pesquisa: Processos de interação da biosfera e atmosfera

Santarém - PA
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- C186e Campos, Kleber Silva
Estudo da fenologia da floresta tropical e atividade no crescimento individual das plantas através do sistema de imageamento terrestre. / Kleber Silva Campos. – Santarém, 2016.
44 fls.: il.
Inclui bibliografias.
- Orientador Rodrigo da Silva
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação e Inovação Tecnológica, Ciências e Tecnologia das Águas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia.
1. Floresta tropical. 2. Imagens. 3. Biomassa. I. Silva, Rodrigo da , *orient.* II. Título.

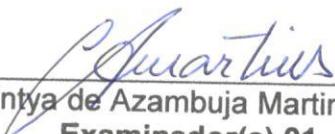
CDD: 23 ed. 634.98

**ESTUDO DA FENOLOGIA DA FLORESTA TROPICAL E ATIVIDADE NO
CRESCIMENTO INDIVIDUAL DAS PLANTAS ATRAVÉS DO SISTEMA DE
IMAGEAMENTO TERRESTRE**

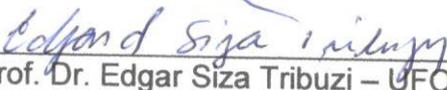
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Estudos de Ecossistemas Amazônicos e Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em **26 de novembro de 2015**.

Prof. Dr. Troy Patrick Beldini (UFOPA)
Coordenador do PGRNA

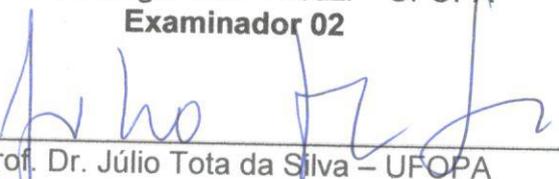
Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores:



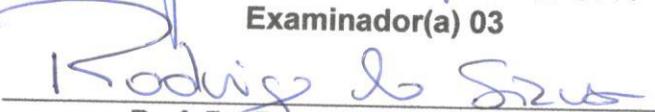
Prof(a). Dr(a). Cintya de Azambuja Martins Khader – UFOPA
Examinador(a) 01



Prof. Dr. Edgar Siza Tribuzi – UFOPA
Examinador 02



Prof. Dr. Júlio Tota da Silva – UFOPA
Examinador(a) 03



Prof. Dr. Rodrigo da Silva (UFOPA)
Orientador

**Santarém - PA
Novembro, 2015**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que compartilharam comigo, os desafios, os obstáculos durante essa jornada; conseguindo Êxito ou não o que vale e a tentativa de alcançar os resultados.

AGRADECIMENTOS

Aqueles que disseram vai em frente, não importa o resultado, o que importa é que cheguei ao final, agradeço pela força que me deu quando eu mais precisei, meus caros professores e amigos, obrigado ao LBA pelo apoio, ao GoAmazon e CNPq bolsa técnica, aos meus amigos do laboratório.

Ao pessoal que sempre esteve junto até mesmo quando eu não estava disposto. Para as pessoas que fizeram a diferença em minha vida. Para as pessoas que quando olho para trás, sinto muitas saudades. Para as pessoas que me aconselharam quando me senti sozinho, e me ajudaram a entender que não importa a dificuldade e que o mais importante era ir em frente. Para as pessoas que me deram força quando eu não estava muito animado.

Agradeço a pessoa que amo Natiele, e ao meu filho Michael Pierre vocês são as coisas mais importantes na minha vida, amo vocês. Aos meus pais Carlito e Antônia; que por mais que não estejam juntos foram eles que me colocaram neste mundo.

Muito obrigado a todos.

RESUMO

As florestas tropicais são importantes estoques de carbono, o padrão sazonal e interanual do desenvolvimento da folha e do seu metabolismo afetam significativamente a dinâmica global do clima, de carbono e água. No entanto, a sazonalidade do desenvolvimento foliar em florestas tropicais ainda é pouco compreendida devido à baixa variação relativa do clima, a biodiversidade extremamente maior dos biomas tropicais e, mais importante, a limitação das técnicas de observação atuais. Neste trabalho, pretendemos demonstrar, a viabilidade do uso de dados obtidos perto da superfície usando torre micrometeorológicas para monitoração do dossel da vegetação, usando câmeras RGB (Pheno-Cam, vermelho, verde e azul) perto da superfície, e usando técnicas de sensoriamento remoto para interpretação dos dados, para entender o padrão de fenologia em uma floresta tropical perene, e como isso afeta a fenologia, e os processos metabólicos de vegetação tropical. Para a elaboração deste trabalho, foi usado dados obtidos do site KM 67 que fica na floresta tropical, Flona do Tapajós (Santarém-Para, Brasil). Onde existe uma torre de 65 metros, instrumentada para medições de covariância de vórtices turbulentos entre a floresta e a atmosfera, CO_2 , H_2O e as trocas de massa e energia entre eles, no ano de 2013 foi incorporado a ela duas câmeras RGB para estudo de fenologia, e os dados obtidos por elas e que serão utilizados para a elaboração deste trabalho, são imagens registradas em 5 minutos de intervalo, as imagens selecionadas foram as de perto do meio-dia por haver iluminação difusa homogênea para com isso minimizar o efeito do ângulo solar. Será usado também dados obtidos no solo com base levantamento biometria bi-semanal (via técnica dendrometria banda) por 23 árvores de amostragem aleatória desde setembro de 2013, onde as 23 árvores estão dentro do alcance de visão torre e sob o campo de visão da câmera.

Palavras chaves: Floresta tropical, Imagens, Biomassa

ABSTRACT

Tropical forests are important carbon stocks, the seasonal pattern of interannual and leaf development and metabolism significantly affect global climate dynamics, carbon and water. However, the seasonality of leaf development in tropical forests is poorly understood even due to low relative change of climate, extremely greater biodiversity of tropical biomes and most importantly, the limitations of current observation techniques. In this work, we intend to demonstrate, data usage viability orbitados near the surface using micrometeorológicas tower for monitoring dorsal vegetation, using cameras RGB (Pheno-Cam) near the surface, and using remote sensing techniques for interpreting the data to understand the pattern of phenology in a tropical evergreen forest, and how it affects the phenology, and the metabolic processes of tropical vegetation. For the preparation from work, it was used data from the KM67 site which is in the rainforest, Flona Tapajós (Santarém-To, Brazil). Where there is a tower of 65 meters, instrumented for eddy covariance measurements between the forest and the atmosphere, CO₂, H₂O and mass exchange and energy between them, in 2013 was incorporated to it two cameras RGB for study of phenology, and the data obtained by them and to be used for the preparation of this work are images recorded in 5 minute intervals, the selected images will be closely noon for having homogeneous diffuse illumination to thereby minimize the effect of the solar angle . It will also be used data from ground-based bi-weekly biometrics survey (band dendrometry technical route) for 23 random sampling trees since September 2013, where 23 trees are within the tower vision scope and under the camera's field of view.

Key words: Tropical Forest, Pictures, Biomass

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA (PPB) E LÍQUIDA (PPL), RESPIRAÇÃO (R) E BIOMASSA (B), AO LONGO DO PROCESSO DE SUCESSÃO FLORESTAL. FONTE: ADAPTADO DE ODUM (1983).....	11
FIGURA 2 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DO SITE DE PESQUISA NA FLONA TAPAJÓS FONTE: LBA	28
<i>Figura 3: DAP e Biomassa</i>	31
Figura 4: Comparação entre equações alométricas.....	32
Figura 5: Tabela de um ano de estados fenológicos.....	33

Sumário

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
CAPITULO 1	3
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	3
1.1 <i>Revisão bibliográfica</i>	4
1.2. FLORESTAS TROPICAIS	4
1.3. <i>Mudanças climáticas</i>	5
1.4. PRODUÇÃO PRIMARIA BRUTA	7
1.5. PRODUÇÃO PRIMARIA LIQUIDA	9
1.6. <i>Biomassa</i>	12
1.7. FENOLOGIA	12
2. Justificativa	15
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GERAL	15
3.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	16
2-CAPÍTULO	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
2.2. <i>Coleta de dados</i>	29
3. RESULTADOS.....	32
3.1. DAP E BIOMASSA	32
3.2. <i>Dados de fenologia</i>	33
4. CONCLUSÕES	36
5. <i>Referencias</i>	37

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO GERAL

Globalmente, a Amazônia contempla a maior floresta tropical permanente do mundo (Fujisaka et al.1998). Devido a sua grande extensão ela tem sido alvo de estudos em diversas áreas das ciências, existe uma grande preocupação de que a floresta tropical seja a responsável pelo equilíbrio do clima no planeta, as alterações da cobertura vegetal da Amazônia trouxe átona vários estudo na tentativa de analisar o comportamento da floresta em relação às mudanças do uso dos solos com a atmosfera. (Berbet & Costa, 2003) observou que em regiões desmatadas, como as áreas urbanas, influenciam nas variações sazonais, em decorrência das variabilidades na radiação refletida e na precipitação. Na floresta isso não é diferente, é possível que ocorra um desequilíbrio no regime pluviômetro e na radiação refletida para atmosfera.

A preocupação com o advento das mudanças climáticas é de grande preocupação para a comunidade científica visto que pode atingir o planeta inteiro, uma mudança brusca no clima pode destruir a floresta tropical causando extinção da biodiversidade o que torna a Amazônia a parte mais vulnerável as mudanças climáticas (Monzoni, 2008). As secas de 2005 e 2010 mostraram que isso é possível, apesar de a floresta se mostrar resistente, ela não suportaria um longo período de estiagem, experimentos como o seca floresta mostrou que a capacidade de sobrevivência da floresta e de no máximo três anos e então começaria a morrer.

Dados obtidos por satélites no período em que ocorreu a seca de 2005 foram analisados usando técnicas de sensoriamento remoto, e os resultados mostraram que mesmo passando por uma seca severa, a floresta se mantinha resistente, com a sua atividade fisiologia ativa, o que resultou em um verde conhecido como Green-Up (Saleska et al. 2007), isso pode ser respondido simplesmente porque nesse período havia uma maior quantidade de luz

disponível para a realização da fotossíntese, e os solos da Amazônia devido a grande quantidade de nutrientes retém uma grande quantidade de água.

As raízes das plantas buscam essa água tanto no mais próximo da superfície quanto no mais profundo solo, por esses motivos é que a floresta pode ter mostrado esse vigor no verdeamento durante a seca de 2005. Com os cenários de mudanças climáticas, se as florestas tropicais podem sobreviver sob alta temperatura e aumento da seca é de grande preocupação, pois isso pode ser associado com o crescimento da planta, ou seja, a floresta busca se adaptar com o meio a que é submetido continuando o seu processo de crescimento.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2 Florestas tropicais

Florestas são detentoras de cerca de 90% de todo o carbono existente na forma de matéria orgânica viva na biosfera. Estudos mostram que em floresta a grande quantidade de carbono está armazenado na floresta tropical brasileira, Martinelli et al. 2009. Através desta afirmação floresta brasileira torna se uma das mais importantes áreas de estudos. Através de dados como este pode se disser que as florestas tropicais são consideradas como os ecossistemas mais produtivos e com maior diversidade do mundo. As mesmas fontes de estudos considera que a maior fonte de carbono armazenado está nos solos das florestas tropicais entre tanto a maior quantidade de carbono está estocado nas serrapilheiras de florestas boreais. Martinelli *et al.* 2009 descreve em seu estudo que menores temperaturas levam a uma decomposição menos intensa, estocando mais carbono na serrapilheira isso explicaria a maior quantidade de carbono em florestas boreais.

A floresta amazônica é considerada a maior área de floresta tropical do mundo, é de extrema importância para o equilíbrio do clima local, regional e global, e pode ser responsável pela manutenção dos grandes ciclos como, por exemplo, os ciclos de carbono e hidrológicos existentes no planeta, as florestas que estoca a biomassa, e no solo que se encontra as maiores quantidades de

carbono, mas do que na atmosfera (Dixon et al. 1994). Nos ecossistemas amazônicos encontram-se uma cobertura vegetal caracterizada por 48,8% de floresta densa e 27,1% de floresta aberta. As savanas amazônicas são em torno de 17,1%, os campos naturais e inundados equivalendo a 7% da cobertura vegetal da Amazônia.

Vários estudos realizados no qual foram usado a técnica de covariância de vórtices turbulentos apontaram que as florestas tropicais da Amazônia constituem um sumidouro de carbono originário do CO₂ antropogênico (Malhi et al. 1998, Grace et al. 1995;). Entre tanto, Saleska et al. 2003 apresentaram o primeiro estudo de covariância de vórtices turbulentos em florestas tropicais da Amazônia onde já mostra a indicação do sequestro de carbono pela floresta tropical da Amazônia.

Com isso sabemos que tanto os solos quanto as florestas, da região tropical têm participação expressiva na dinâmica dos processos físicos e químicos na atmosfera, e que eles atuam como fonte e sorvedouro de diversos gases traços (Goreau, et al., 1987; Keller et al. 1986). Pode ser dizer que cerca de 2/3 de C que está sendo absorvido pelas florestas tropicais pode ser armazenada na matéria orgânica umidificada, no entanto Telles *et al.* 2003 apontaram que o C nestes solos está praticamente em equilíbrio. Justamente porque os solos da Amazônia proporcionam um mosaico de superfícies, e os acúmulos de C são extremamente variáveis, além do mais pouco se sabe sobre sua dinâmica e tempo de permanência nos solos tropicais.

1.3 Mudanças climáticas

A floresta amazônica tomar parte de um função fundamental para o equilíbrio dos do clima local, regional e global que pode ser explicar os numerosos processos de retroalimentação (*feedback*) que a floresta realiza com a atmosfera (Foley et al. 2003; Kleidon e Heimann, 1999). Por causa dessa grande magnitude de ser a grande floresta tropical, as trocas gasosas entre a atmosfera e a biosfera influenciam diretamente neste equilíbrio, assim pode-se considerar que as modificações climáticas a partir da Amazônia podem causar alterações em outros ecossistemas do globo terrestre. Os

conhecidos mecanismos de retroalimentação entre a atmosfera e a superfície são constantemente estudados ao longo do tempo, um desses processos conhecidos é de fundamental importância e que é estudado e monitorado por diversos pesquisadores que são os mecanismos de precipitação sobre a Amazônia e suas características climáticas.

O clima de uma região é moldado por mecanismos chamados de condicionantes climáticos, e alguns destes agem em escala global e outros atuam em escalas regionais e locais, e estudos mostram que um desses mecanismos é a ciclagem da água feita pela própria floresta e que a variável umidade, é a principal responsável pelos processos de chuvas para outras regiões fora da Amazônia. Devido às grandes modificações ocorridas no planeta devido às ações antropogênicas causadas pelo homem, a floresta amazônica está sujeita a fenômenos conhecidos como variabilidade climática que atua na Amazônia, com isso a floresta está sujeita a alterações devido a agentes externos, e a interferência do homem sobre este ecossistema, que pode alterar o mecanismo de transporte de umidade dentro e fora da bacia amazônica, com isso os possíveis impactos que podem gerar desequilíbrio estão o desmatamento e o aumento da concentração de gases de efeito estufa no clima. Várias mudanças no clima já foram detectadas na Amazônia o que causou várias alterações bruscas no clima, causando anomalias como a que ocorreu na Amazônia e nas regiões vizinhas (Marengo, 2005; Freitas et al. 2005). A seca de 2005 comprometeu uma grande extensão da Bacia Amazônica ocidental com isso ficou visível a vulnerabilidade amazônica a eventos climáticos extremos.

Hutyra et al. 2005, afirmaram que eventos climáticos considerados extremos como secas, podem ser origem não só pela variabilidade climática natural (como por exemplo, os padrões de circulação do Atlântico, que pode ser uma das causas da seca de 2005 na Amazônia ocidental, e também eventos *El Niño*) mas também pelas atividades humanas (queimadas e mudanças no uso do solo), com isso podemos dizer que a Floresta Amazônica depois de modificada pode se transformar em grandes áreas de savana. Hutyra et al. 2005 concluirão através das análises de áreas de floresta, que estas podem ser mais sensíveis às secas severas, mas para chegar a essa conclusão

foram utilizadas informações sobre a precipitação na região dos últimos 100 anos. Com isso mostraram que a região, mas afetada pela seca se estendeu do Tocantins à Guiana. Essas confirmações mostraram que os resultados já descobertos por meio de modelos que simulam o futuro do clima na Amazônia, sugerem que essas anomalias climáticas podem ocorrer maiores frequência e intensidade de eventos de seca ao longo da segunda metade do século XXI (Betts et al. 2004). Vale ressaltar que, as incertezas dos modelos ainda são altas, podendo assim gerar vários erros de interpretação, mas a intenção dos pesquisadores seria mostrar que uma parte da Amazônia terá um clima mais seco e essa evidenciada já pode ser constatada.

1.4 A PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA

A Produtividade Primária pode ser definida como a propriedade do ecossistema em relação à sua habilidade de absorver e armazenar o carbono atmosférico, sendo condicionado de padrões temporais e espaciais da vegetação. Levando em consideração a natureza e as fontes relacionadas à esses tópicos que abordam os processos de balanço de radiação, estrutura e fenologia de ecossistemas florestais.

Com isso a Produtividade Primária Bruta vem a ser considerada como a somatória da fotossíntese realizada pelas folhas em escala de ecossistema. Decorrente da relação entre a escala temporal de dias a ano, e medida em unidades de massa por área por tempo (ex. $gCm^{-2}ano^{-1}$) (CHAPIN III et al., 2011). A PPB representa a retenção bruta de carbono pelos ecossistemas terrestres, e estabelece a entrada inicial do chamado ciclo biogeoquímica que ocorre carbono na biosfera. A PPB na escala de ecossistema, normalmente, não é medida diretamente e sim, estimada por modelos ou pela soma da troca líquida do ecossistema e a respiração do ecossistema, ambas estimadas por torres de fluxo (HUTYRA et al. 2007).

A PPB também pode ser estimada pela soma dos componentes da produtividade primária líquida (PPL) e respiração autotrófica, medidos em campo (Malhi et al. 2009). A respiração autotrófica é composta pela soma das respirações das raízes, caule e folhas.

Equação 1: $RA = RR + RC + RF$

Sendo assim, a PPB pode ser estimada pela equação: $PPB = PPL + RA$.

Considerando o sistema solo-planta-atmosfera, a captação do carbono atmosférico pelo dossel florestal envolve processos onde o CO_2 entra no sistema planta através da fotossíntese em escala foliar. Nessa escala a fotossíntese (PPB) depende da capacidade bioquímica fotossintética das folhas. Historicamente, a disponibilidade de água tem sido considerada um dos principais limitantes da PPB no período seco. No entanto, Hutrya et al. 2007 e Goulden et al. 2004 observaram em dois sítios na Floresta Nacional do Tapajós-PA, que a PPB tende a permanecer elevada durante o período seco. Este período coincide com o decréscimo das chuvas e concomitante incremento da radiação solar incidente, portanto neste sítio, especificamente, a radiação solar tende a ser a principal forçante da PPB em escala de dossel.

Estudos de Costa et al. 2009 também apontam nessa direção, evidenciando que no período seco a evapotranspiração é maior do que no período chuvoso. No entanto, observações provenientes de outros sítios na Amazônia (Reserva Cueiras, Reserva Jarú e Fazenda Maracai) mostraram declínio da PPB no período seco (KELLER et al., 2004). Esses resultados apontam para uma variação dos mecanismos de controle da PPB em escala de dossel e em diferentes condições ambientais. Consequentemente, as bases conceituais da variação da PPB na Amazônia têm sido reformuladas a partir das observações recentes dos padrões sazonais de PPB e dos mecanismos de controle da PPB.

Esses resultados evidenciaram o controle estomático atuando nas relações hídricas, mantendo processos como a PPB mesmo em condições de déficit hídrico. Outros fatores ambientais podem influenciar as relações do sistema solo planta-atmosfera, por exemplo, adaptações ecológicas como raízes profundas (Nepstad et al. 1994) e variações na capacidade de retenção hídrica de diferentes tipos de solos (Hodnett et al. 1995), proporcionam suporte

hídrico durante o período seco e aumentam a resiliência da vegetação em condições de déficit hídrico.

1.5 A PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA

A produção primária líquida (PPL) representa o fluxo de carbono dentro do ecossistema; é definida como a diferença entre a fotossíntese total, que corresponde à produtividade primária bruta e a respiração autotrófica total (Clark et al. 2001). Na prática, no entanto, a PPL não pode ser definida em termos desta diferença (Clark et al. 2001). Uma definição alternativa é a quantidade líquida de carbono que é assimilado da atmosfera e fixado em nova matéria orgânica por unidade de tempo (Malhi et al. 2004).

Em ecossistemas terrestres seus componentes incluem produção de folhas, flores, frutos, raízes grossas e finas, tecidos lenhosos acima do solo (tronco e galhos), exportação de carboidratos para simbioses e parasitas e formação de exsudatos e hidrocarbonetos voláteis. (Clark et al. 2001; Malhi et al. 2004).

A PPL global é estimada em 57 Gt¹ de carbono por ano e o estoque de carbono na vegetação corresponde a 640 Gt (Field et al. 1998). As regiões entre os trópicos apresentam as maiores taxas de produtividade da superfície terrestre, com destaque para as florestas tropicais que apresentam de 30% a 50% da produtividade terrestre global e aproximadamente 40% do estoque terrestre global de carbono, sendo a maior parte alocada na forma de biomassa (Phillips et al. 1998; Grace et al. 2001).

A produtividade pode ser estimada por diferentes meios, tais como dados de sensoriamento remoto, modelos que utilizam parâmetros fisiológicos (índice de área foliar e fração absorvida da radiação fotossinteticamente ativa) e calculando o acúmulo de biomassa entre um ou mais anos (Gower, et al. 1999). A biomassa de uma área, por sua vez, pode ser estimada por meio de dois métodos: o método direto, que consiste na derrubada e pesagem das árvores que ocorrem em parcelas fixas e o indireto, que utiliza dados de inventários florestais e equações alométricas.

Alometria é o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos. (Higuchi, et al. 2006). Equações alométricas são modelos matemáticos oriundos de análise de regressão, são amplamente utilizadas como meio indireto de se estimar o volume madeireiro e a biomassa florestal de uma área (Higuchi & Ramm, 1985). Estimar a biomassa de toda Amazônia pelo método direto é impossível, por se tratar de um método destrutivo, portanto, é preciso aperfeiçoar os métodos indiretos, onde as estimativas se baseiam em equações alométricas para obter valores confiáveis e mais próximos do real no que se refere à biomassa e carbono acumulados em material vegetal (Higuchi et al. 2004).

Estudos acerca da produtividade em florestas tropicais são relevantes pelo fato de reterem grande parte do potencial mundial da produção primária e estoque de carbono. A dinâmica deste ecossistema pode influenciar as mudanças climáticas globais e composição atmosférica, tendo grande implicação econômica e impactos sobre a biodiversidade global. Considerando as diferentes estratégias e o fato de que as espécies, e mesmo os indivíduos de uma mesma espécie, não se comportam de maneira semelhante torna-se necessária à avaliação do crescimento e produtividade individual. Em uma área florestal manejada o conhecimento acerca da elasticidade da produtividade das espécies fornece suporte para decisões sobre os tratamentos silviculturais a serem realizados. A prescrição de tratamentos adequados de acordo com a resposta de cada espécie proporciona uma otimização da atividade. Além disto, esta análise permite selecionar as espécies florestais que podem vir a ser exploradas e as que necessitam ser protegidas.

A PPL, a quantidade líquida de carbono fixado por unidade de tempo na matéria orgânica, é uma propriedade fundamental prevista por muitos modelos de ecossistemas e uma métrica de uso de recurso usado pelos ecossistemas. Medições abrangentes de PPL têm sido raras nas florestas tropicais Clark et al. 2001; e a maioria dos estudos relata apenas a produtividade da madeira ou a produtividade total AG (produtividade lenhosa mais a queda de liteira fina).

O crescimento da comunidade vegetal depende de que a taxa de armazenamento de matéria orgânica exceda as perdas de CO₂ pelo processo

de respiração autotrófica (R_a). Então, a taxa líquida de assimilação de CO_2 ou Produtividade Primária Líquida (PPL) é dada por (Odum, 1983):

$$PPL = PPB - R_a$$

O comportamento da biomassa ao longo do processo sucessional é caracterizado pela produtividade do sistema de acordo com a figura 1. A produtividade primária da fitomassa e consequente assimilação do carbono nos ecossistemas terrestres são frequentemente expressas em $Mg\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ e dependem de fatores químicos, biológicos e físicos (concentração do nitrogênio foliar, área foliar, resistência estomática, água do solo, concentração de CO_2 atmosférico, radiação, etc.). Assim, os efeitos de mudanças ambientais e antrópicas, tais como, CO_2 atmosférico desbaste seletivo e a conversão de florestas em pastagens ou agricultura, no ecossistema podem ser avaliados por meio do conhecimento de sua produtividade.

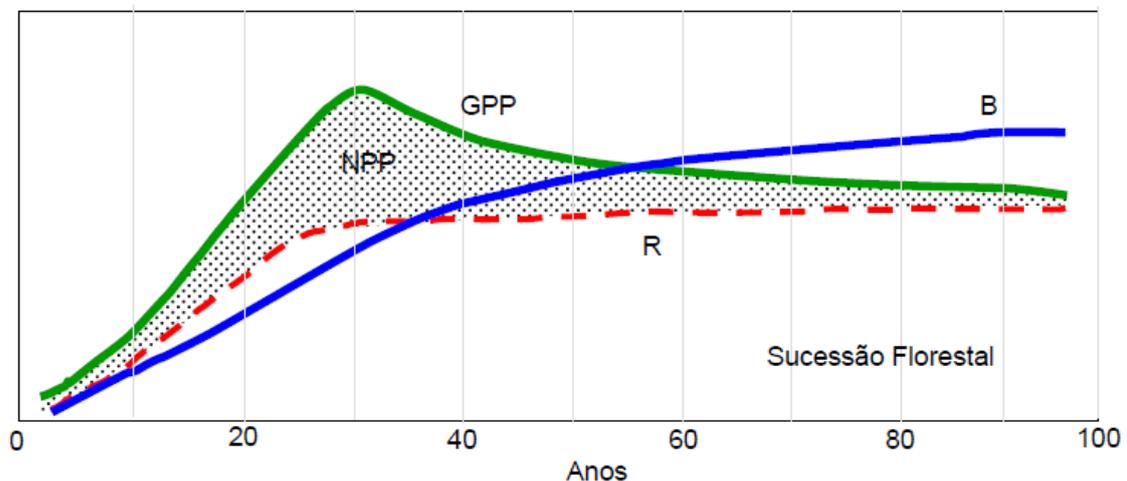


FIGURA 1. Evolução da produtividade primária bruta (PPP) e líquida (PPL), respiração (R) e biomassa (B), ao longo do processo de sucessão florestal.

FONTE: Adaptado de Odum (1983).

Os estudos da produtividade dos ecossistemas florestais na Amazônia deverão, num futuro próximo, contribuir para determinar a função desse ecossistema em relação ao carbono e as mudanças climáticas em um contexto global.

1.6 BIOMASSA

A floresta Amazônica é um imenso depósito dinâmico de carbono que pode ser lentamente liberado para a atmosfera por meio de transformação combinada que pode ser desmatamento e a perda de carbono do solo devido às mudanças no uso da terra ou o impacto das alterações no clima (Nepstad et al. 1999). Nas últimas décadas, houve um acréscimo do interesse em conhecer os fatores que envolvem a dinâmica das florestas tropicais, com isso seu desenvolvimento teve uma importância e fundamental nos estudos de acumulação de biomassa. Este interesse vem do fato das florestas tropicais exercerem grande influência no balanço do carbono e dos gases do efeito estufa, assim suas consequências para as mudanças climáticas poderiam ser estudadas e avaliadas no decorrer dos anos, e esses interesses são tanto pela emissão de gases ou quanto a floresta emite ao ser queimada e também pelo seu potencial de acúmulo da biomassa, obtido através do crescimento florestal (VISMARA, 2009).

O acúmulo de carbono nas árvores que em altas concentrações se torna nocivo à qualidade de vida é o elemento de principal importância, com isso cresce a cada dia o interesse pelos estudos de biomassa das florestas (SILVEIRA, 2008). A biomassa vem ser a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta (MARTINELLI et al. 1994). Ela pode ser apresentada pela massa verde ou massa seca, sendo que a massa verde refere-se ao material fresco amostrado, contendo uma variável proporção de água. Já a massa seca refere-se à biomassa obtida após secagem do material em estufa (CALDEIRA, 2003).

1.7 Fenologia

As florestas tropicais são importantes estoques de carbono, e o padrão sazonal e interanual do desenvolvimento da folha e do seu metabolismo afetam significativamente a dinâmica global do clima, de carbono e água. No entanto, a sazonalidade do desenvolvimento foliar em florestas tropicais ainda é pouco compreendida devido à baixa variação relativa do clima, a biodiversidade

extremamente maior dos biomas tropicais e, mais importante, a limitação das técnicas de observação atuais.

Segundo (Fournier, 1974) o estudo fenológico de floresta tem sido estudado em todo mundo, a fenologia é o estudo da época de ocorrência de fenômenos naturais repetitivos, especialmente em relação ao clima e a sazonalidade em que o ambiente experimenta. Hoje em dia, os ecologistas começaram a saber mais e mais sobre fenologia tropical e o crescimento das plantas e suas atividades fisiológicas durante a sazonalidade, porém a conexão deles é ainda carente. Portanto, é muito importante ligar fenologia tropical para observar o crescimento da floresta tropical, pelo qual podemos mergulhar profundamente em como a mudança climática afeta a fenologia da planta e, assim, afetar os processos de crescimento.

O desequilíbrio causado pelas mudanças na temperatura e precipitação pode ser capaz de modificar intensamente a fenologia, com isso o período de crescimento, e a taxa de acúmulo de biomassa e o período e taxa de maturação podem ser alterados (Lee et al. 2002). Com isso os riscos dos ecossistemas responderem a esta variabilidade é bastante grande, pois tanto a disponibilidade de luz e água são fatores limitantes para as plantas.

Fenologia foliar e metabolismo são características importantes das espécies de plantas em florestas tropicais, pois refletem a influência da evolução e do meio ambiente sobre as características da planta e que, por sua vez, têm implicações significativas para o funcionamento da folha, da planta de modo geral, e das escalas de ecossistemas (Reich et al, 2004). Por exemplo, estudos anteriores demonstraram que taxas de variação da luz (Wright et al, 2004; Bradley et al, 2011.) e água (Van Schaik et al, 1993,. Reich, 1995; Bradley et al, 2011) exerceria grande impacto na árvore durante o período de crescimento da árvore (brotação, floração e frutificação) e nas propriedades de troca de gás das folhas. As mudanças na área foliar iriam promover um feedback para trocas vegetação-atmosfera, de energia, momento e massa (Myneni et al., 2007). Portanto, para entender completamente o padrão sazonal e interanual do desenvolvimento foliar e do metabolismo torna-se um tema central da ecologia e assim poder entender as alterações globais na evolução do ecossistema.

A sazonalidade do desenvolvimento foliar em florestas tropicais continua a ser mal compreendida devido à baixa variação relativa no clima (Reich, 1995; Reich et al, 2004), e a biodiversidade dos biomas tropicais é extremamente alta (Van Schaik et al, 1993, Reich , 1995) e, mais importante, a capacidade limitada para preencher a lacuna entre a observação de plantas individuais e o padrão de grande escala através de técnicas de sensoriamento remoto (Samanta et al, 2010; Asner et al, 2010). Medições terrestres mostram um padrão descontínuo de brotamento em nível de espécie (Van Schaik et al. 1993), e a maior biodiversidade torna difícil estimar o padrão fenológico da folhagem agregado real em grande escala.

Dados de satélites, tais como MODIS EVI e outros produtos de satélite e o uso de técnicas de sensoriamento remoto, também têm sido utilizadas para monitorar larga escala padrão fenologia da vegetação tropical ao longo de décadas (Justice et al, 1985; Huete et al, 2006). Embora estas observações por satélite poderia ser útil na avaliação sazonal e do padrão de crescimento interanual de vegetação tropical, devido à sua cobertura temporal e espacial de alta maior, a qualidade e interpretação de dados de sensoriamento remoto ainda é de grande controvérsia. Por exemplo, medidas de sensoriamento remoto, utilizando as bandas reflectoras (por exemplo, o EVI) são sensíveis ao ângulo solar zenite (Galvão et al, 2011), carregamento de aerossol atmosférico (Anderson et al. 2010), epiphyll tampa (Toomey et al. 2009), a idade da folha (Brando et al. 2010), e as mudanças estruturais do dossel (Anderson et al. 2010). Todos esses estudos demonstraram uma grande demanda na busca de novas abordagens para acompanhar o desenvolvimento da folha em regiões tropicais.

Para que entender melhor os processos fenológicos é necessário entender que a floresta retira CO_2 da atmosfera para a realização da fotossíntese e todo o carbono absorvido pelas plantas recebe o nome de produção primária bruta (PPB), no entanto as plantas também respiram, com isso liberam parte do CO_2 para a atmosfera. Para saber a Produção primária líquida (PPL) feita pelos organismos autotróficos precisar fazer a diferença entre o PPP e a respiração (Chapin et al. 2006)

2 - Justificativa

A Amazônia é formada por um mosaico de vegetações, condições edáficas distintas e por várias condições que contribuem das mais diferentes formas para os processos biogeoquímicos e climatológicos, o que leva a Amazônia a ser estudada em nível local e global. Analisando a intervenção humana e as modificações geradas principalmente pela ação humana, como o desmatamento, as queimadas, ou seja, as mudanças do uso da terra de modo geral existem uma necessidade de aprofundar e ampliar o acervo de informações referentes às influências dos ecossistemas terrestres sobre as interações da biosfera com a atmosfera bem como seus impactos. O Estudo fenológico das formas de crescimento permite compreender suas respostas funcionais as variações ambientais, especialmente a sazonalidade hídrica.

3 - Objetivos

3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse projeto é analisar a fenologia das plantas de florestas tropicais (Floresta Nacional do Tapajós FLONA), levando em consideração a variabilidade sazonal, para isso será usado dados de imagens de uma câmera RGB e dados de biomassa, e com isso simular e prever a capacidade de crescimento das plantas e o que ocorre na sua fenologia ao longo de um ano.

3.2 Objetivos Específicos

Determinar a biomassa e relaciona com a fenologia;

Analisar dados de imagens através RGB e monitorar a sua fenologia.

4 – Referencias

ANDERSON., L.O., Malhi., Y., Aragao., L.E.O.C., and et al. (2010). Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies. *New Phytologist*, 187: 733-750.

Asner., G.P. and Alencar., A. (2010). Drought impacts on the Amazon forest: the remote sensing perspective. *New Phytologist*, 187: 569-578

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, n. 12, p. 2099-2104, 2003.

BETTS, R.A.; COX, P.M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global change warming. *Theoretical and Applied Climatology*, v.78, p.157- 175, 2004.

Bradley., A.V., Gerard., F.F., Barbier., N., and et al. (2011). Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. *Global Change Biology*, 17: 2245-2260.

Brando., P.M., Goetz., S.J., Baccini., A., and et al. (2010). Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. *PNAS*, 107 (33): 14685-14690.

CALDEIRA, M.V.W. et al. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild plantados no Rio Grande do Sul. *Revista Acadêmica*, Curitiba, v.1, n.2, p.47-54, 2003.

CHAPIN III, F.S.; Woodwell, G. M.; Randerson, J. T.; Rastetter.; E.B.; Lovett, G. M.; Baldocchi, D.D.; Clark, D. A.; Harmon, M. E.; Schimel, D. S.; Valentini, R.; Wirth, C.; Aber, J.D.; Cole, J. J.; Gouden, M. L.; Harden, J. W.; Heimann, M.;

Howarth, W.; Matson, P.A.; McGuire, A. D.; Melillo, H. A.; Neff, J. C.; Houghton, R. A.; Pace, M. L.; Ryan, M. G.; Running, S. W.; Sala, O. E.; Schlesinger, W. H.; and Schulze, E. D 2006. Reconciling Carbon-cycle concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems* 9: 1041 – 1050.

Clark DA, Brown S, Kicklighter D, Chambers JQ, Thomlinson JR, Ni J (2001) Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecol Appl* 11:356–370

Clark, D. 2004. “Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series B)* 359, 477-491.

Dixon, R., Brown, S., Houghton, R., Solomon, A., Trexler, M. & Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185-191.

FOLEY, J.A.; COSTA, M.H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.; Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth’s climate. *Frontiers In Ecology and the Environment* 1:38–44,2003.

FREITAS, S. R.; LONGO, K.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; GRELL, G.; RECUERO, F. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, v.5, p.135 - 167, 2005.

Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson, and P. Falkowski (1998), Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components, *Science*, 281, 237– 240, doi:10.1126/science.281.5374.237

FOURNIER, L. A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas em árboles. *Turrialba*, v.24, p. 422-423, 1974.

FUJISAKA, S.; Astilla, C.; Scoabar, G.; Rodrigues, V.; Veneklaas, E.J.; Thomas, R.; fisher, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 69, p. 1726, 1998.

GALVAO., L.S., dos Santos., J.R., Roberts., D.A., and et al. (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*, 115:2350-2359.

Goulden, M. L., S. D. Miller, H. R. da Rocha, M. C. Menton, H. C. Freitas, A. M. Figueira, and A. C. D. de Sousa (2004), Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange, *Ecol. Appl.*, 14, 42– 54, doi:10.1890/02-6008.

GOREAU, T. J.; DE MELLO, W.Z. Effect of deforestation on source and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide and methane from some Amazonian biota and soil. In: WORKSHOP ON BIOGEOCHEMISTRY OF TROPICAL RAIN FORESTS: PROBLEMS FOR RESEARCH AND WWF, 1987, Piracicaba: FEALQ, p. 104-130. 1987.

Gower, S. T., Kucharik, C. J. e Norman, J. M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sens. Environ.*, 70: 29-51, 1999.

GRACE, J.; et al. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in Southwest Amazônia, 1992 to 1993. *Science*. v. 270, p. 778–780, 1995.

GRACE, J., MALHI, LLOYD, J., MCINTYRE, J. MIRANDA, A., MEIER, P. MIRANDA, H. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain Forest, *Global Change Biology*, v.2, p.209-217. 2001.

Hodnett MG, da Silva LP, da Rocha HR, Senna RC. 1995. Seasonal soil water changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology* **170**: 233–254.

Higuchi, N., Ramm, W., 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of central Amazon (Brazil). *Commonwealth Forestry Review* 64(1), 33-41.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, 34(3), set./dez. 2004, 295-304, 295-304, Curitiba-PR.

Higuchi, N. 2006 Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management* 234, 85-96.

Huete, A., Didan, K., Shimabukuro, Y., Ratana, P., Saleska, S., Hutyrá, L., Yang, W., Nemani, R. & Myneni, R. 2006 Amazon rainforest green up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters* 33, doi:10.1029/2005GL025583.

Huete., A.R., Didan., K., Shimabukuro., Y.E., and et al. (2006). Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, 33, L05405.

HUTYRA, L. R., Munger, J. W., Saleska, S. R., Gottlieb, E., Daube, B. C., Dunn, A. L., ... & Wofsy, S. C. (2007). Seasonal controls on the exchange of carbon and water in an Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* (2005–2012), 112(G3).

HUTYRA, L. R.; MUNGER, J. W.; NOBRE, C. A.; SALESKA, S. R.; WOFSY, S. C. Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazonia. *Geophysical Research Letters*, 32, L24712, 2005.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The physical Science basis: contribution on working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, 2007.

JUSTICE, C.O., Townshend., J.R.G., Holben., B.N., and et al. (1985). Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 6(8): 1271-1318.

KELLER, M., KAPLAN, W. A.; WOFSY, S.C. Emissions of N₂O, CH₄ and CO₂ from tropical forest soils. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, Washington, v. 91, n.11, p.1791-1802, Oct. 1986.

Keller, M., Palace, M., Asner, G.P., Pereira, R., Silva, J.N.M., 2004. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. *Global Change Biology* 10, 784-795.

KLEIDON, A.; HEIMANN, M.; Deep-rooted vegetation, Amazonian deforestation, and climate: results from a modeling study. *Global Ecology and Biogeography* 8, 397–405, 1999.

LEE, R.; Yu, F.; Price, K.P. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time-series analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002.

MARTINELLI, L. A. *et al.* Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. 1a. ed. ed. São Paulo: Oficina de Textos 2009, 144 p.

MALHI, Y. et al. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*. v.103, p.31593–31612, 1998.

Malhi Y, Baker TR, Phillips OL, Almeida S, Alvarez E, Arroyo L, Chave J, Czimczik CI, Di Fiore A, Higuchi N, Killeen TJ, Laurance SG, Laurance WF, Lewis SL, Montoya LMM, Monteagudo A, Neill DA, Nunez Vargas P, Patinõ S, Pitman NCA, Quesada CA, Silva JNM, Lezama AT, Vasques Martinez R, Terborgh J, Vinceti B, Lloyd J (2004) The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Glob Change Biol* 10:563–591

Malhi, Y., Aragão, L., Metcalfe, D., Paiva, R., Quesada, C., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P. et al. 2009 Comprehensive assessment of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology* 15, 1255-1274.

MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River basin water budget. *Climate Dynamics*, 24, 11-22, 2005.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. Seminário Emissão X Sequestro de CO₂ – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, Rio De Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CURD, 1994, p. 197- 221.

MONZONI, M. Diretrizes para a formulação de políticas públicas em mudanças climáticas no Brasil.– O livro laranja. Observatório do Clima e Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP – FGV, 94p,2008.

MOORE, D. J., Aref, S., HO, R. M., Pippen, J. S., Hamilton, J. G., & DE LUCIA, E. H. (2006). Annual basal area increment and growth duration of *Pinustaeda* in response to eight years of free-air carbon dioxide enrichment. *Global Change Biology*, 12(8), 1367-1377.

MYNENI, R.B., Yang., W., Nemani., R.R., and et al. (2007). Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. *PNAS*, 104(12): 4820-4823.

NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 6727, p. 505-507, 1999.

ODUM, H.T. **Systems Ecology: An Introduction**. John Wiley & Sons: New York, 1983. 644 p.

Phillips, O., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W., Núñez, P., Vásquez, R., Laurance, S., Ferreira, L. et al. 1998. Changes in the Carbon Balance of Tropical Forests: Evidence from Long-Term Plots. *Science* 282, 439-442.

Reich., P.B. (1995). Phenology of tropical forests: patterns, causes, and consequences. *Can. J. Bot.* 73: 164-174.

REICH.,P.B., Uhl., C., Walters, M.B., and et al. (2004). Leaf demography and phenology in Amazonian rain forest: a census of 40000 leaves of 23 tree species. *Ecological Monographs*, 74(1): 3-23

RYU., Y., BALDOCCHI., D.D., VERFAILLIE., J., AND ET AL. (2010). TESTING THE PERFORMANCE of a novel spectral reflectance sensor, built with light emitting diodes (LEDs) to monitor ecosystem metabolism, structure, and function. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150:1597-1606.

SAMANTA.,A., Ganguly., S., Hashimoto., H., and et al. (2010). Amazon forests did not green-up during the 2005 drought. *Geophysical Research Letters*, 37, L05401

SALESKA, S.R., K.Didan, A. R. Huete, and H. R. da Rocha (2007), Amazon forests green-up during 2005 drought. *Science*, 318: 612 (10.1126/science.1146663).

STARK, S. C., Leitold, V., Wu, J. L., Hunter, M. O., de Castilho, C. V., Costa, F. R., ... & Saleska, S. R. (2012). Amazon forest carbon dynamics predicted by profiles of canopy leaf area and light environment. *Ecology Letters*, 15(12), 1406-1414.

TELLES, E. C.C.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; COSTA., A. S.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical Forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v. 17, n.2, p. 1029-2002, May. 2003.

TOOMEY.,M, Roberts., D., Nelson., B. (2009). The influence of epiphylls on remote sensing of humid forests. *Remote Sensing of Environment*, 113:1787-1798.

VAN SCHAİK., C.P., Terborgh., J.W., and Wright., S.J. (1993). The phenology of tropical forests: adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 24: 353-377

WANG, J., Rich, P. M., Price, K. P., & Kettle, W. D. (2004). Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3127-3138.

WRIGHT.,S.J. and Van Schaik., C.P. (1994). Light and the phenology of tropical trees. *The American Naturalist*, 143(1): 192-199.

CAPÍTULO 2

Estudo da fenologia da floresta tropical e atividade no crescimento individual das plantas através do sistema de imageamento terrestre

Resumo

As características fisiológicas de espécies existentes na floresta tropical são um importante método de estudo para entender o padrão fenológico e as suas variações das duas estações que ocorrem na Amazônia, pois essas se estabelecem em ambientes naturais de clima tropical e a floresta pode ser influenciada pela sazonalidade climática, evento que é comum na Amazônia tropical, principalmente devido à ocorrência de períodos secos e chuvosos bem definidos. Foi realizado o acompanhamento sazonal e mensal das relações hídricas e da biomassa, juntamente com a mudança das folhagens de 23 árvores para observação dos estágios da fenologia. Foi focado principalmente o incremento de biomassa, e as alterações nas folhas comparando por imagens de câmeras RGB, para avaliar as mudanças no decorrer dos meses e assim comparar a sazonalidade observando como as interações entre parâmetros e variáveis do ambiente físico influenciam no desenvolvimento da floresta. A variação sazonal do status hídrico pode ser entendida durante a sazonalidade principalmente que apresentaram um padrão, com maior déficit hídrico na estação seca. Essas espécies da floresta tropical apresentaram um padrão fenológico sazonal que inclui o período de brotação, quedas de folhas, maturação, mudanças de cores das folhas que podem se concentrar no fim da estação seca e início da chuvosa, ou queda de folhas, intensa durante a estação seca. Esse tipo de observação pode trazer respostas de que as condições climáticas têm maior influência sobre a floresta, que são determinantes sobre a fenologia das espécies.

PALAVRAS-CHAVE: Fenologia, Sazonalidade e Imagens.

ABSTRACT

The physiological characteristics of species in tropical forests are an important method of study to understand the pattern phenological and variations of two the two seasons that occur in the Amazon, as these are established in natural environments of tropical climate and the forest can be influenced by seasonality, an event that is common in the tropical Amazon, mainly due to the occurrence of dry and wet periods well defined. It was held the seasonal and monthly monitoring of water relations and biomass, along with the changing foliage of trees 23 to observe the phenological stages. It was mainly focused on the increase of biomass, and changes in leaves compared by RGB camera images to assess the changes over the months and so compare the seasonality observing how the interactions between parameters and variables of the physical environment influence the development of the forest. The seasonal variation of the water status can be seen during seasonal mainly presenting a standard, more drought in the dry season. These species of tropical forest present a seasonal phenological pattern that includes the budding period, leaf falls, ripening, leaf color changes that can focus at the end of the dry season and early rainy, or leaf fall, intense during dry season. This type of observation can bring that climate conditions answers have the most influence over the forest, which are decisive on the phenology of species.

KEYWORDS: Phenology, seasonality and Images

1 INTRODUÇÃO

O aumento na temperatura média global no decorrer das ultimas décadas tem levantado um alerta de preocupação para a humanidade, principalmente para a comunidade científica. A temperatura da superfície global aumentou em torno de 0,74 (0,56 a 0,92)°C no período de 1906 a 2005. Uma justificativa para o provável aumento seria o acréscimo na concentração de gases de efeito estufa como dióxido de carbono presente na atmosfera retendo mais radiação solar refletida pela Terra (IPCC, 2007). Houghton et al (2001) registrou um aumento na temperatura global média de cerca de 0,6°C de 1990 para 2000 com isso fizeram uma projeção de um aumento de 1,4° a 5°C para um futuro próximo.

Hansen et al (2006) também alertaram que a temperatura da superfície do planeta aumentou cerca de 0,2°C por ano nos últimos trinta anos, de forma que atualmente o planeta como um todo está provavelmente tão aquecido, ou até mais, que qualquer. Esse aumento pode ser crucial considerando preocupante devido aos efeitos sobre as diferentes formas de vida. Allen et al (2009) confirmaram a elevação da temperatura média global em cerca de 2°C desde o período pré-industrial até o presente, e o que poder ter causado esse aumento pode ter sido a concentração de CO₂ atmosférico causado por emissões cumulativas.

Uma das principais funções dos vegetais afetadas pelo aumento de temperatura é a fotossíntese. Mais carbono na atmosfera significa mais alimento para as plantas, mas as alterações climáticas podem mudar drasticamente o equilíbrio, as plantas que se estabelecem em um ambiente natural estão sujeitas a condições ambientais adversas e podem apresentar respostas distintas diante de situações de estresse. A interação entre os fatores causadores de estresse sugere que o comportamento das plantas pode ser bastante diferente daquele observado em condições naturais do ciclo afetando todo o sistema fenológico das plantas, principalmente em sua área foliar.

Para este estudo foi utilizado dados relacionados ao DAP de 23 arvores, e feito observações quando a sua fenologia ao longo de um ano, os dados

fenológicos foram observado de maneira visual e utilizando câmera na faixa do RGB para identificar ao longo do ano as alterações ocorridas na floresta e com isso relacionar a sua biomassa ao crescimento da mesma, ou encontrar algum tipo de relação de mais ou menos carbono durante as duas estações distintas que ocorrem na Amazônia.

2 - Material e Métodos

2.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada na FLONA Tapajós, na altura do km 67 na da Rodovia BR 163, Cuiabá-Santarém. A FLONA Tapajós é uma unidade de conservação criada pelo decreto nº73.684 de 19/02/74, sendo esta a 13ª floresta nacional a ser criada no país e a segunda na região norte e no estado do Pará e abrange uma área de 6000 km², com sede administrativa na cidade de Santarém. Limita-se a oeste com o rio Tapajós, a leste com a BR-163, e ao sul com o rio Cupari.

Floresta primária (km 67)

O sítio está localizado dentro da Floresta Nacional do Tapajós (54° 58' W, 2° 51' S, Pará, Brasil), na rodovia Santarém- Cuiabá (figura 1a) à 67 km de Santarém. Como parte do Programa de Grande Escala da Biosfera-atmosfera na Amazônia (LBA).

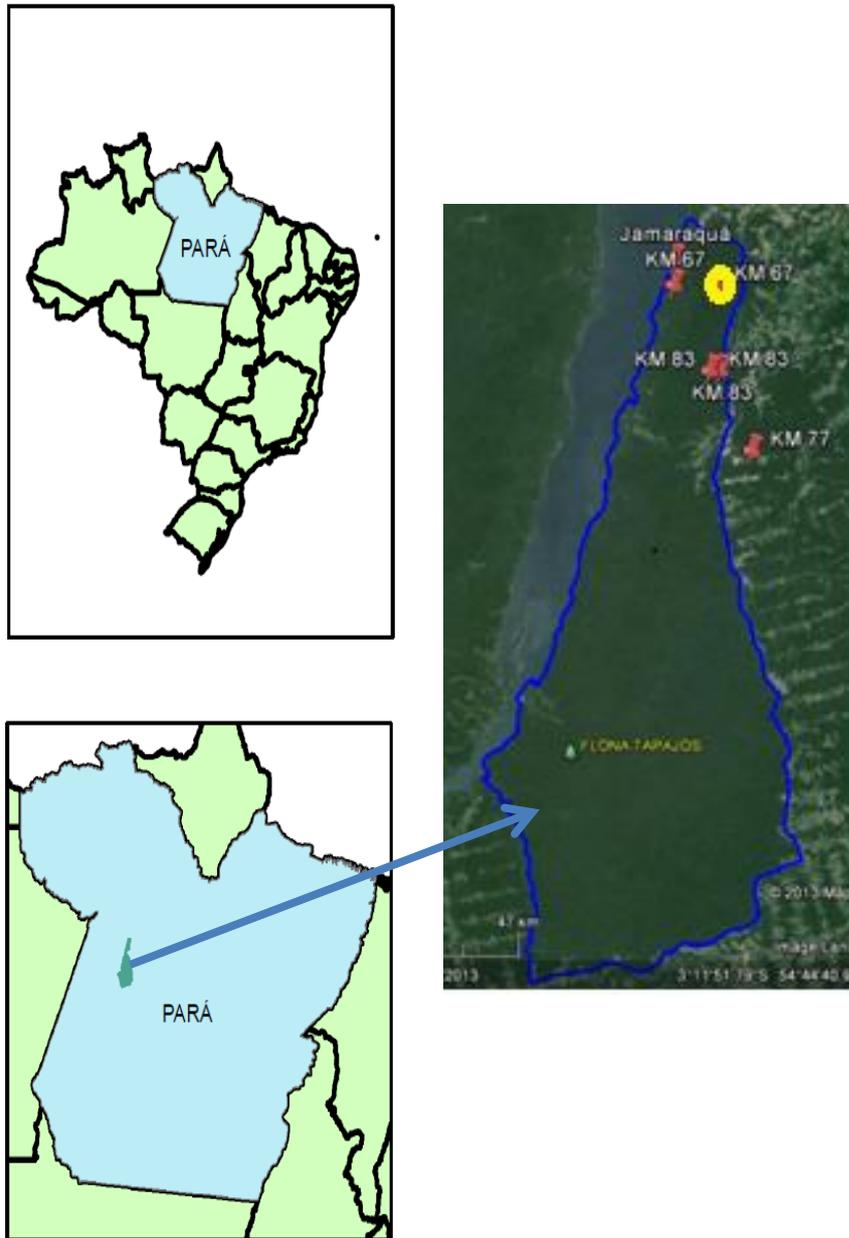


Figura 2: Mapa da localização do site de pesquisa na FLONA Tapajós

Fonte: LBA

Vegetação

Compreende o bioma Amazônico e a considerada como floresta ombrófila densa de terra firme. A floresta ombrófila densa é um ecossistema tropical dinâmico suscetível às alterações naturais ou antropogênicas, que

influenciam diretamente o estoque de biomassa, devido às mudanças na estrutura físico-química do solo, estrutura e composição florística e variações microclimáticas ao longo do tempo, é caracterizada pela dominância de árvores de grande porte, além de lianas e epífitas (Veloso et al. 1991; Hernandez Filho et al. 1993).

O Clima

O clima é tropical úmido com temperatura média anual de 25°C, classificação é Am, pelo sistema de Köppen. Possui uma umidade relativa em média de 86% com precipitação anual em média de 2.111mm sendo que nos meses de dezembro a maio há uma maior ocorrência de chuvas e de julho a agosto uma queda pluviométrica brusca, caracterizando-se um período seco onde a precipitação mensal é inferior a 60 mm (INMET, 2013).

2.2 Coleta de dados

a) Procedimentos em campo e material de coleta

O conjunto de dados que será utilizado neste trabalho é proveniente do Projeto GoAmazon (Green Ocean Amazon) Arizona, Tucson, EUA. Que atua junto ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera (LBA) na Amazônia. O LBA é uma iniciativa de pesquisa internacional liderada pelo Brasil e está projetado para gerar novos conhecimentos para entender o funcionamento climatológico, ecológico, biogeoquímico e hidrológico da Amazônia, o impacto das mudanças no uso da terra nesses funcionamentos e as interações entre a Amazônia e o sistema biogeofísico global da terra. Uma série de experimentos vem sendo executados na floresta nacional do tapajós ao longo da Br 163 Santarém Cuiabá, mas precisamente dentro do site de pesquisa do km 67 Base terra rica.

Dentro deste site monitorado pelo ICMBIO e LBA existe uma torre micrometeorológica, na qual esta instalada uma serie de instrumentos que medem as variáveis climáticas: temperatura, umidade, radiação par e radiação incidente, chuva, e vento, instrumentos como: anemômetro unidimensional, um anemômetro sônico que em conjunto com um LI-COR formam o complexo sistema eddy covariance e uma câmera hiperespectral que captura imagens da floresta durante o dia juntamente com outra câmera tetracam. No site de

pesquisa, 23 árvores foram selecionada para estudos, onde a câmera hiperspectral esta direcionada para elas, essa câmera captura imagens dessas árvores, essas imagens são enviadas para um computador e armazenadas, para posteriormente serem analisadas usando técnicas de sensoriamento remoto, as árvores selecionadas serão monitoradas duas vezes ao mês, onde será medido o seu DAP para análise de crescimento. Sensores de radiação estão em pontos selecionados para medir a intensidade luminosa proveniente do solna qual a floresta utiliza para realização da fotossíntese, esses dados também serão analisados em laboratório.

b) Análise dos dados

Para a análise dos dados de DAP será utilizado um modelo chamado Método dendrômtrico de banda, utilizando a equação alométrica de Chave et al, (2005) para espécies de floresta tropical úmida (equação 1) e (equação 2). Onde na equação 1, ρ é a densidade da madeira que pode ser dado em (g/cm^3), D é o diâmetro à altura do peito dado em (cm).

Equação 1

$$\text{Biomass}=\rho*\exp(-1.499+2.148\ln(D)+0.207\ln(D)^2-0.0281\ln(D)^3)$$

Esta equação é amplamente utilizada para monitorar a atividade de crescimento da planta, em ambos os sistemas de florestas temperadas (Moore et al, 2006;. Duchesne et al, 2012) e sistemas florestais tropicais (da Silva et al, 2002). A Atividade de crescimento baseado no modelo dendrômtrico tem sido amplamente ligada a fatores ambientais (da Silva et al, 2002;. Duchesne e Prevost, 2012) e a fenologia da planta (Michelot et al, 2012). No entanto, ainda há falta de compreensão mecanicista como fatores ambientais e fenologia da planta no controle da atividade crescimento da planta.

Análise fenológica

Para análise das imagens foi usado câmeras na faixa do RGB Câmeras (webcams) montadas em torre, pode ter têm um grande potencial para a quantificação de padrões fenológicos do dossel da vegetação em várias áreas simultaneamente sem a necessidade do monitoramento intensivo de campo sendo necessária a observação visual em alguns momentos para efeito de comparação com as imagens. Existem duas câmeras atualmente na torre na faixa do RGB, que fotografa a floresta num intervalo de a cada cinco minutos, no entanto somente as imagens entre 11h e 13h foram selecionadas ou aquelas que estão sobre efeito de radiação difusa que corresponde à baixa luminosidade.

3 – Resultados

3.1 DAP e Biomassa

Apesar de várias equações alométricas terem sido desenvolvidas nas florestas da Amazônia não foram desenvolvidas equações baseadas em medições diretas e não muito específicas para a floresta tropical, como o da Amazônia brasileira, no entanto foi usada as equações alométricas para determinar a biomassa a partir de árvores amostradas na floresta tropical, onde a equação de Chavel et al 2005 foi usada como específica, podendo ser usada as somente em medições de diâmetro e a densidade da madeira, ao longo de duas sazonalidades o DAP de vinte e três arvores foram monitoradas e o seu crescimento ao longo do tempo analisados os resultados apresentados usando a estimativa de Chaves et al 2005 mostra um acumulo de biomassa de 150 Kg nas amostragens.

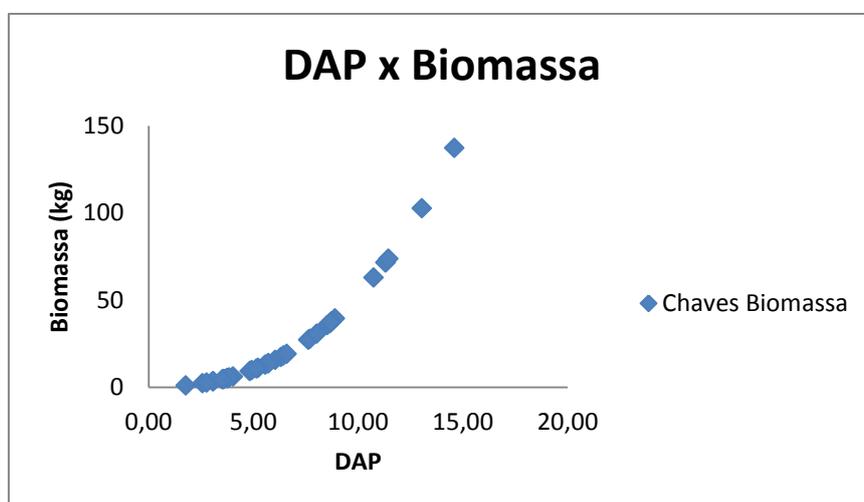


Figura 3: DAP e Biomassa

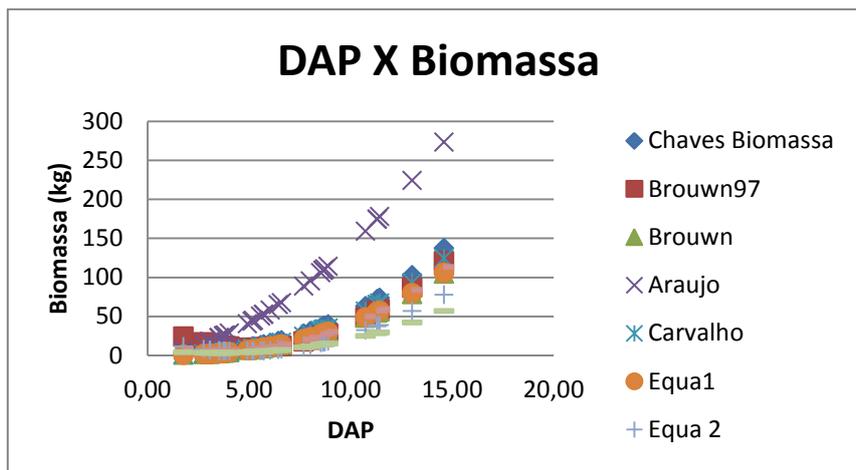


Figura 4: Comparação entre equações alométricas

Usando somente o diâmetro e a densidade da madeira, o que é uma importante vantagem para uso prático, à equação neste estudo a biomassa das árvores amostradas. As estimativas de biomassa foram obtidas após a normalização do número de árvores amostradas para o número de árvores em cada classe de diâmetro (intervalo de 10-cm), que foi obtido a partir de inventários, e a medição de bandas dendométricas. Comparando com algumas outras equações pode ser perceptivo que o estoque de biomassa encontrado pelas outras são equivalentes, e pode ser usadas para um tipo de comparação para uma eventual superestimativas.

3.2 Dados de Fenologia

Das vinte e três árvores que ocupam o campo de visão das câmeras foram observadas as alterações durante a estação seca e chuvosa e separadas os eventos quanto a sazonalidade. A tabela abaixo mostra os eventos ocorridos ao longo de um ano, e descritos ao menos três estágios fenológicos no decorrer do ano de 2014, para cada letra alfabética corresponde a um estado fenológico, descrito a baixo.

CAM 1												
NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
E/A/F	E/B/A	E/A/B	E/G/F	E/G/F	E/G/F	E/G/F	E/G/F	E/C/A	E/B/I	E/B/I	E/B/F	E/B/F
CAM 2												
NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
E/F/G	E/C/F	E/C/F	E/C/H	E/C/F	E/J/F	E/J/F	E/J/B	E/J/B	E/F/I	E/F/I	E/B/F	E/B/F

Figura 5: Tabela de um ano de estados fenológicos

- A: Folha começa a cair
- B: Folha começa a nascer
- C: Folha começa a mudar de cor
- D: Folha começa a amadurecer
- E: Folhas verdes sadia
- F: Robustes da copa
- G: Folhagem completa
- H: Folhas voltam a ficar verde
- I: Surgimento de flores
- J: Novas cores de folhas

Fenologia na estação chuvosa

Apresentaram ao menos uma mudança mensal maciça pelo menos uma vez no período de estudo. Durante os meses avaliados da estação chuvosa, foi registrados alterações mensais maciças nos feno-estados foliares.

Dessas, vinte e três arvores no período que corresponde a estação chuvosa.

- ✓ Todas as árvores no campo de visão das câmeras apresentaram um verdor significativo;
- ✓ Neste período houve tanto queda de folhas como o nascimento de novas folhas;
- ✓ Árvores que mudaram a cor das folhas;
- ✓ Várias arvores aumentaram o volume de suas copas.

Fenologia na estação seca

- ✓ Todas as árvores no campo de visão da câmera continuaram com folhas verdes e saudáveis;
- ✓ Aproximadas 17 árvores tiveram crescimento de novas folhas;
- ✓ Quedas de folhas e surgimento de flores;
- ✓ Aumento no volume das folhas;

4 – Conclusões

As mudanças de feno-estados das árvores selecionadas na floresta tropical Amazônia, de acordo com as amostragens, não mostram muitas diferenças em relação às duas estações seca e chuvosa. Que pode ser explicado por ser um ano sem alterações no clima da região. As árvores apresentam folhas novas em toda a estação seca, sendo concentrada na primeira metade. Esse resultado mostra que, mesmo havendo menos chuva a uma maior demanda de transpiração, que podem ser realizado pelas árvores do dossel superior e estariam, em média, aproveitando a maior quantidade de luz disponível na estação seca. Comparando com os dados de biomassa podemos dizer que a floresta consome uma grande quantidade de CO₂ durante a estação seca, mais não limita se na estação chuvosa.

Sabe-se que a fenologia é um processo que envolve diversos fatores ambientais, biológicos e climáticos. Com isso, a dinâmica fenológica se mostra bastante heterogênea. Sendo assim, para integrarmos dados sobre a dinâmica fenológica e fornecer subsídios para a modelagem climática é necessário compreender o mosaico desse comportamento. Este estudo foi limitado a apenas a vinte e três de árvores. Sendo assim, novos estudos podem ser realizados para maior entendimento da fenologia na floresta tropical.

5 – Referencias

ALLEN, M.R.; FRAME, D.J.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D.; LOWE, J.A.; MEINSHAUSEN, M. & MEINSHAUSEN, N. 2009. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tone. *Nature* 458: 1163-1166.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. -P., Puig, H., Riéra, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145, 87-99.

DA SILVA, R. P., dos Santos, J., Tribuzy, E. S., Chambers, J. Q., Nakamura, S., & Higuchi, N. (2002). Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166(1), 295-301

DUCHESNE, L., & Prévost, M. (2012). Canopy disturbance and intertree competition: implications for tree growth and recruitment in two yellow birch–conifer stands in Quebec, Canada. *Journal of Forest Research*, 1-11.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LO, K.; LEA, D.W. & MEDINA-ELIZADE, M. 2006. Global Temperature Change. *PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(39): 14288-14293.

HERNANDEZ FILHO, P.; Shimabukuro, Y.E.; Lee, D.C.L.; Santos Filho, C.P. dos; Almeida, R.R. 1993. Relatório final do projeto de inventário florestal na Floresta Nacional do Tapajós. INPE - São José dos Campos, 126p.

Houghton, R.A., Lawrence, K.T., Hackler, J.L., Brown, S., 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology* 7, 731-746.

MICHELOT, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrêne, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree physiology*, 32(8), 1033-1045.

Veloso, H. M.; Filho, A. L. R. R.; Lima, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Rio de Janeiro, RJ, 1991. 124 p.