

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE APOIO A PESQUISA

ESTUDO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM CAMPOS LIMPO, SUJO E FLORESTA DE
HUMAITÁ - AM

Bolsista: Walleson Higor Corrêa Jordão, UFAM

HUMAITÁ/AM
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE APOIO A PESQUISA

RELATÓRIO FINAL
PIB-E/0216/2012-2013
ESTUDO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM CAMPOS LIMPO, SUJO E FLORESTA DE
HUMAITÁ - AM

Bolsista: Walleson Higor Corrêa Jordão, UFAM
Orientador: Prof. MSc. Fabrício Berton Zanchi

HUMAITÁ/AM
2013

RESUMO

Este estudo tem como objetivo Analisar através da geoestatística a variabilidade e dependência espacial dos valores de índice de área foliar (IAF) em áreas naturais de campo limpo, campo sujo e Floresta de transição do sul do Amazonas. O Índice de Área Foliar (IAF) está ligado às características dos ecossistemas, visto que possuem uma influência determinante nos processos de trocas de massa e energia, o que se torna fundamental para o entendimento das mudanças no clima regional e dinâmica do ecossistema. Estes ecossistemas não são uniformes em toda área variando de forma espacial e temporal, apresentando certa heterogeneidade na sua formação. O que torna importante avaliar a distribuição espacial de suas propriedades. O delineamento experimental consistiu na construção de uma malha com 30 pontos georeferenciados em cada área de estudo, sendo que os valores do IAF (Abril/2013) foram mensurados pelo LAI-2000, instrumento que calcula a estrutura da vegetação através da radiação que penetram na copa das arvores. A geoestatística constituiu na modelagem de semivariogramas e construção de mapas de isolinha (krigagem), indicando a variabilidade dos valores de IAF assim como a dependência espacial entre as amostras. Os valores de IAF mostraram dependência espacial entre as amostras e apresentam distribuição espacial diferente para cada área estuda.

Palavras Chave: Índice de Área Foliar, Ecossistema, Geoestatística.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 – Características gerais do Índice de Área Foliar (IAF).....	7
2.2 – Importância do índice de área foliar (IAF).....	7
2.3 - Métodos de estimativa do IAF.....	8
2.4 Geoestatística.....	8
3. METODOLOGIA	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5. CONCLUSÃO.....	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia ocupa uma área total de mais de 6,5 milhões de quilômetros quadrado e aproximadamente 85% de toda à Amazônia se localiza em território brasileiro. A região é um grande mosaico de paisagens, formada nos períodos geológico Terciário e Quaternário e atualmente 13% desta região já foram transformadas em pastagens ou agricultura nos estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Pará (IBGE, 1997; SOARES-FILHO *et al.*, 2006).

Devido a sua enorme extensão territorial, a Amazônia apresenta diferentes características climáticas, meteorológicas e também diferentes características em seus ecossistemas (BAMBI, 2007). De acordo com, Mc Clain *et al.*, (1997), IBGE, (1997) e Luizão *et al.*, (2007), aproximadamente 6% da Amazônia é formada por vegetação do tipo *savanna* (Cerrado, Campina e Campinarana), encontradas nos estados de Roraima e no norte e sul do estado do Amazonas. Por outro lado 70% da Amazônia são formadas por floresta de *terra-firme* com regiões também de várzea, alagadiços e florestas de Igapó localizadas as margens dos rios da região (KLINGE e MEDINA, 1979; PRANCE, 1979; LUIZÃO *et al.*, 2007).

No entanto, ao longo de décadas a Amazônia vem sendo intensamente modificada pela agropecuária. Este processo de conversão dessas áreas se inicia com o corte da vegetação, seguida pela queima e introdução de culturas e posterior degradação do solo. O que pode modificar e influenciar os ecossistemas naturalmente estabelecidos (CORREIA, 2006). Um dos importantes parâmetros da vegetação que caracteriza cada ecossistema é o Índice de Área Foliar (IAF) que se define como a área ocupada pelas folhas em relação à área do solo ocupada pela planta (BROUGHAM, 1956). A frequência e a intensidade de desfolha afetam o índice de área foliar remanescente após o corte de árvores, colheita, fogo ou pastejo.

Segundo Fao (1999), as pastagens/campos tropicais possuem crescente importância no gerenciamento dos recursos hídricos e nos modelos locais de vegetação-interações da atmosfera com relação às mudanças climáticas (CORREIA, 2006). Contudo, existem ainda poucas informações referentes à variação espacial ou mesmo de coletas de longo prazo da variação do IAF (ZANCHI *et al.*, 2009).

Normalmente as variações no IAF, são afetadas pelas variações que ocorrem sazonal e anualmente do clima e umidade do solo, assim em períodos secos as plantas podem responder ao estresse hídrico e às limitações á transpiração através do fechamento dos estômatos, perdas de folhas e morte de partes das plantas ou mesmo a senescência (ZANCHI *et al.*, 2009).

No entanto, as condições sazonais do IAF dos campos amazônicos podem ser grandes sob influência direta dos períodos secos da região, são susceptíveis a eventos de queima natural ou sob influência humana (DIAS *et al.*, 2006).

Porém, esta cobertura vegetal possui um importante papel nas condições climáticas regionais, regulando os processos hidrológicos (evapotranspiração), bem como nas trocas de massa e energia, desta forma, o estudo detalhado dessa cobertura, torna-se fundamental para o entendimento das mudanças no clima regional (ZANCHI *et al.*, 2009).

Contudo, estimar e caracterizar uma área através deste parâmetro biológico (IAF) torna-se uma tarefa muito árdua, pois o IAF apresenta uma variabilidade temporal e espacial. Com isto, torna-se fundamental a caracterização do seu padrão local e suas variações nas áreas chaves de estudo da região. Afinal, estatística clássica permite a descrição de uma propriedade, sem considerar a posição espacial das respectivas coletas. Mesmo que os ecossistemas sejam caracterizados por um tipo de formação arbórea ou vegetativa, os mesmos não são uniformes em toda área e variam durante o ano. O que torna importante avaliar a distribuição espacial dos valores das suas propriedades. Neste caso, a análise da estatística clássica que consideram a independência entre as amostras, baseada na média, vem sendo substituída por análises geoestatística fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989), que utilizam o semivariograma, produzindo a descrição da dependência espacial entre as amostras (WEBSTER e OLIVIER, 1990).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial do índice de área foliar (IAF) usando a técnica de geoestatística em áreas naturais de campo limpo, campo sujo e Floresta de transição do sul do Amazonas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Características gerais do Índice de Área Foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) foi definido por Watson (1947), como a área fotossintética, de um lado da folha, por unidade de superfície de solo, sendo um valor adimensional (CHEN e BLACK, 1992). Constitui um dos principais parâmetros biofísicos e estruturais da vegetação, sendo definido como a área foliar total por unidade de área do solo ($m^2.m^{-2}$), influenciando nas trocas de massa e energia de um ecossistema. Com base em considerações sobre transferência de radiação, Chen e Black (1992), sugeriram que a razão entre a metade do total da área fotossinteticamente ativa e sua área de projeção no solo seria a definição mais aceitável para o IAF.

Este IAF é resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo; às condições do microclima; as condições como herbivoria, à competição e a independências desses fatores nos diferentes estágios sucessionais da vegetação (WANDERLLI e MARQUES FILHO, 1999; ZANCHI *et al.*, 2009).

Para Gower *et al.*, (1999), o IAF está diretamente relacionado com a produtividade primária e a evapotranspiração de ecossistemas florestais. Para estimar a produtividade e a evapotranspiração, pesquisadores têm desenvolvido modelos de interface floresta-solo-atmosfera (RUNNING e COUGHLAN, 1988), nos quais o IAF é a principal variável descritora do dossel vegetal. Para espécies de folhas planas a definição de Watson é aplicável, já que as duas superfícies da folha têm a mesma área (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

O IAF aumenta com idade da planta, que então se capacita a interceptar, progressivamente, maior proporção de luz solar incidente. Assim, a partir da formação das folhas, o IAF aumente progressivamente até que se atinja um valor “crítico” em que 95% da luz incidente são interceptadas pelas folhas. Continuando o aumento do IAF, as folhas inferiores são progressivamente sombreadas, tornando-se conseqüentemente, menos efetiva no processo fotossintético da comunidade vegetal (BROWN e BLASER, 1968).

2.2 – Importância do índice de área foliar (IAF).

Segundo Gower, *et al.*, (1999), a importância do IAF é clara, pois a maioria dos modelos de processos do ecossistema, que simulam ciclos de água e carbono, requer o IAF como principal variável de entrada descritora do dossel.

O estudo dos ecossistemas amazônicos se torna imprescindível ao conhecimento das interações entre o solo-planta-atmosfera devido a sua importância para a dinâmica do clima em escala regional e global no que tange aos fluxos de massa e energia (ZANCHI *et al.*, 2005).

Entretanto é essencial, o estudo dos ecossistemas, mostrando as possíveis relações com os elementos climáticos determinantes nos processos fisiológicos da atmosfera-

biosfera. Tais análises permitem comparações que possibilitam evidenciar as reais alterações ocasionadas pela ação humana sobre o meio ambiente natural (WATERLOO *et al.*, 2002). Dentre os elementos importantes se destaca o índice de área foliar (IAF), que determina e controla a interceptação da água, da radiação e as trocas de água e dióxido de carbono com a atmosfera e outros, sendo assim um componente fundamental para os ciclos biogeoquímicos do ecossistema (BREDA *et al.*, 2003).

2.3 Métodos de estimativa do IAF

Vários trabalhos apresentam diferentes métodos para estimar o IAF e outros parâmetros da estrutura da vegetação (BREDA *et al.*, 2003). Entretanto nem todos estão adaptados para ecossistemas florestais tropicais (WASSEIGE *et al.*, 2003).

Os processos para aquisição do IAF podem ser feitos através dos métodos diretos e indiretos (ZANCHI *et al.*, 2009).

Os métodos diretos consistem na obtenção das medidas de interesse (áreas) diretamente das folhas. Como o corte raso da vegetação e posteriormente as medidas alométricas da vegetação, sendo ele muito trabalhoso dependendo da vegetação amostrada.

Com o desenvolvimento de novas técnicas, surgiram os chamados métodos indiretos, nos quais as áreas são calculadas indiretamente a partir de valores de radiância (SOUSA e PONZONI, 1996), caracterizado pela medida de radiação total que penetra no interior da cobertura vegetal. O princípio é basicamente o mesmo, ou seja, medidas radiométricas que fornecem dados de clareira do dossel são utilizadas para estimar o IAF. Estes métodos indiretos incluem a fotografia hemisférica, o LAI-2000 e os produtos orbitais.

O LAI-2000 foi o instrumento utilizado para estimar o IAF nesse trabalho, este método consiste em um sensor passivo, desenvolvido para estimar o IAF de dosséis de vegetação, sendo muito prático para o uso em áreas vegetadas. Como característica básica, apresenta as medidas mais rápidas do que aquelas obtidas por outros métodos indiretos (MOREIRA, 2001).

Os métodos indiretos apresentam uma forma mais prática para obtenção dos dados, além de produzir resultados próximos aos dos métodos diretos em outros experimentos (ROBERTS *et al.*, 1996). Em contra partida os métodos diretos apresentam maior precisão, mas são mais laboriosos que os indiretos (XAVIER *et al.*, 2002).

2.4 Geoestatística

As técnicas geoestatísticas, em especial a *Krigeagem*, têm sido utilizadas no estudo da distribuição espacial e análise da vegetação (BERNARDI, 2001; NANOS e MONTEIRO, 2002).

A *Krigeagem* teve a sua origem no estudo da distribuição espacial de ouro, realizada por Krige (1951). Esse autor constatou que a estatística clássica baseada somente em variância e desvio padrão das amostras não era suficiente para explicar a ocorrência desse mineral. Era necessário incluir na análise as distâncias entre os pontos amostrados e a dependência espacial entre os mesmos (ESPÍRITO SANTO, 2003). A partir daí surge o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Matheron (1971), baseado nas observações de Krige, desenvolveu a *teoria das variáveis regionalizadas*. Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples.

As duas funções utilizadas com maior intensidade na geoestatística para a determinação da dependência espacial ou temporal de variáveis são a função autocorrelação (que gera o autocorrelograma) e a função variograma (que gera o semivariograma) (GUIMARÃES, 2004). No presente estudo foi utilizado como instrumento de análise espacial de dados a função variograma, na qual será descrita com maior detalhamento.

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigeagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). A função variograma $2\gamma(h)$ é definida como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores no espaço, separados por uma distância h (Equação 2.1). A função $\gamma(h)$ é definida como semivariograma (Equação 2.2).

$$2\gamma(h) = E[Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (2.1)$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (2.2)$$

Onde: $2\gamma(h)$ é a função variograma; $\gamma(h)$ é função do semivariograma; E representa o operador matemático esperança; $Z(x)$ é o valor de uma variável regionalizada na posição x ; e $Z(x + h)$ é o valor de uma variável regionalizada na posição $x + h$ que representa um vetor distância.

Através de uma amostra $z(x_i)$, $i=1, 2, \dots, n$, a função de um semivariograma $\gamma(h)$ (Equação 2.3) pode ser estimada por um conjunto de dados, definindo um semivariograma experimental $\hat{\gamma}(h)$.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (2.3)$$

Onde: $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental; N é o número de pares de pontos amostrais; $Z(x)$ é o valor de uma variável regionalizada na posição x ; e $Z(x+h)$ é o valor de uma variável regionalizada na posição $x+h$ que representa um vetor distância.

Os parâmetros do semivariograma podem ser observados diretamente da Figura 2.1:

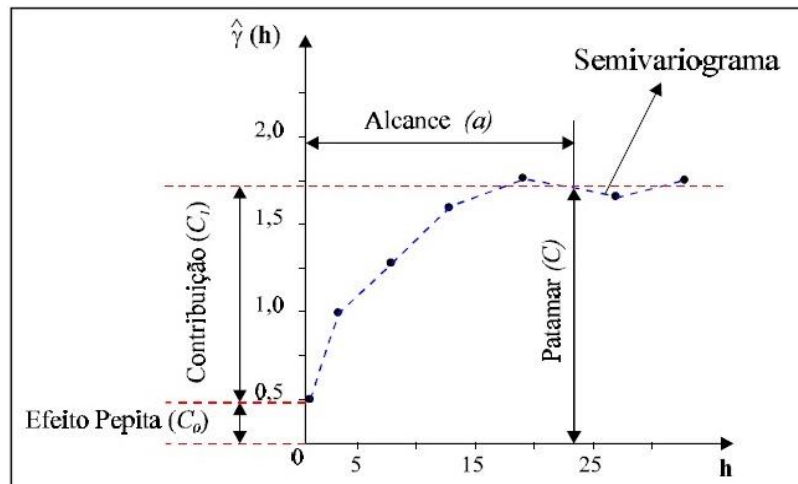


Figura 2.1 – Exemplo de semivariograma

- *Alcance (a)*: distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na Figura 5.3, o alcance ocorre próximo de 25m.
- *Patamar (C)*: é o valor do semivariograma correspondente a seu *alcance (a)*. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x}+\mathbf{h})]$) torna-se invariante com a distância.
- *Efeito Pepita (C₀)*: idealmente, $\gamma(\mathbf{0})=0$. Entretanto, na prática, à medida que \mathbf{h} tende para 0 (zero), $\gamma(\mathbf{h})$ se aproxima de um valor positivo chamado *Efeito Pepita (C₀)*, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (Isaaks e Srivastava, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.
- *Contribuição (C₁)*: é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C₀).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no sítio experimental pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA, em Humaitá, Amazonas. Instalado na reserva do ministério da defesa, pertencente ao 54º BIS (Batalhão de Infantaria de Selva) de Humaitá. As áreas de estudo na Floresta de Transição, Campo Sujo e Campo Limpo estão localizadas sob as seguintes coordenadas geográficas: 7°32'2.16"S e 63°14'37.65"W, 90.8 m a.n.m (acima do nível do mar), 07°34'52.93"S e 63°08'43.84"W, 82.9 m a.n.m. e 07°33'49.72"S e 63°06'05.58"W, 82.2 m a.n.m, respectivamente. Estas áreas caracterizam-se de forma genérica pela presença de dois ambientes distintos, as Várzeas, que margeia os rios de “águas barrentas”, ricas em material suspenso, e que está sujeita à inundação sazonal e as áreas de *Terra Firme* que não sofrem inundação e são formados a partir de sedimentos terciários (CARVALHO, 1986; EMBRAPA, 1997).

O clima da área de estudo é caracterizado como quente e úmido também denominado de tropical chuvoso. Apresentando temperatura, umidade e precipitação elevadas. A temperatura média anual varia em torno de 26,7 °C, com valores médios de 23,3°C e 31,4°C para as mínimas e máximas, respectivamente. A umidade relativa média anual da região é 84%. A distribuição mensal de chuvas forma duas épocas distintas no ano: a estação seca, que ocorre de junho a outubro, sendo agosto o mês com o menor índice pluviométrico; e a estação chuvosa, que ocorre entre novembro e maio, sendo que o mês de março apresenta o maior índice pluviométrico (FALESI, 1971).

Após as coletados dos dados os mesmos foram encaminhados ao laboratório de hidrometeorologia do Campus Vale do Rio Madeira - CVRM, no Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM em Humaitá-AM onde foi realizado a análise geoestatística do índice de área foliar (IAF).

3.2. Medidas do IAF

As medidas do índice de área foliar (IAF) foram determinadas pelo o método indireto para todas as três áreas em estudo, utilizando o analisador de cobertura de plantas, O LAI – 2000 Plant Canopy Analyser (LICOR INC., NEBRASKA, USA). Este sensor (Fig. 3.2) calcula a estrutura do dossel das árvores ou das áreas de campos, através das medidas de radiação difusa que penetram nas copas e que é captado pelo analisador que possui um sensor de luz em “Olho-de-Peixe”, tendo ele um campo de visão de 148°. As medidas consistem em determinar a interceptação de luz em cinco distintas bandas angulares (0-13°, 16-28°, 32-43°, 47-58° e 61-74°) com o zênite no centro. Para minimizar o efeito da radiação

espalhada pelo dossel, um filtro permite a medição somente de radiação menor que 490 nm. Sendo o IAF calculado pelos modelos de transferência de radiação do dossel da vegetação para o analisador descrito por Campbell e Norman (1998).

As medidas do Índice de Área Foliar foram realizadas no mês de abril/2013 para todas as áreas em estudo, o que foi possível caracterizar o IAF para um período importante do ano, o período chuvoso na região (de novembro a maio).



Figura 3.1- Sensor LAI-2000

3.3. Delineamento experimental e Geoestatística

O delineamento amostral segue o método RAPELD (inventários rápidos, RAP e Projetos Ecológicos de Longa-Duração, PELD, (MAGNUSSON *et al.*, 2005)), que subdividem uma área de 5 x 5 km em parcelas de medidas a cada 250 metros levando em consideração a topografia do local. Sendo assim, o IAF foi amostrado dentro destas parcelas já estabelecidas, porém para análise da geoestatística é melhor uma área linear, assim três linhas de 50 metros de comprimento cada (2500 m^2) e equidistantes 25 m entre elas foram inseridas nesta parcela de 250 m do RAPELD. Os pontos de amostragem do IAF foram dispostos em cada linha numa distancia entre si, de 5 metros. Formando assim uma malha quadrada (50x50m) com 30 (trinta) pontos em cada área.

Após a coleta dos dados (IAF), os mesmos foram submetidos à análise da estatística descritiva e a geoestatística através da técnica de Krige, (1951), sendo a interpolação de krigagem que analisa em duas dimensões dados espacialmente distribuídos. A interpolação de superfícies é gerada a partir de amostras georreferenciadas obtidas por GPS para cada local de coletado do IAF. Estes procedimentos englobam análise exploratória, geração e modelagem de semivariograma, validação do modelo e interpolação de krigagem.

Os semivariogramas foram modelados e ajustados no programa GS+ (versão 7.0) (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004) que caracterizou os parâmetros do semivariograma e a dependência espacial entre as amostras. Utilizamos como base para a análise do grau de dependência espacial a classificação estabelecida por Cambardella *et al.* (1994), que

considera como dependência espacial forte os semivariograma que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderado entre 25% e 75%, e fraco quando for maior que 75%. Na escolha do modelo para cada semivariograma, levou-se em consideração o maior valor encontrado para o coeficiente de correlação (R^2), obtido pelo método de validação interpolado dentre os modelos disponíveis.

O semivariograma é calculado a partir dos pontos amostrados usando a seguinte equação:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x) - Z(x + h)]^2 \quad (3.1)$$

Onde: $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância experimental; N é o número de pares de pontos amostrais; $Z(x)$ é o valor de uma variável regionalizada na posição x ; e $Z(x + h)$ é o valor de uma variável regionalizada na posição $x + h$ que representa um vetor distância.

Os dados foram ajustados no modelo Esférico (Esf):

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases}$$

Posteriormente, os modelos ajustados pelo variograma (Eq. 3.1), foram então usados no desenvolvimento dos mapas de isolinhas (krigagem). Assim possibilitando a elaboração de mapas de distribuição espacial do IAF utilizando o programa Surfer 8.0 (GOLDEM SOFTWARE, 1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva do índice de área foliar (IAF) nos campos limpo, sujo e floresta de transição, estão na Tabela 1. Como esperado o valor médio do IAF foi maior na Floresta de Transição ($4,42 \pm 0,74 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$) seguido do Campo Sujo ($2,03 \pm 0,64 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$) e do Campo Limpo ($1,72 \pm 0,48 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$). O IAF para floresta de transição foi próximo ao valor médio de IAF ($4.6 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$) verificado por Graça (2004), em um estudo numa floresta de transição, localizada no centro-norte do estado de Mato Grosso. Valores maiores foram encontrado por Mc William *et al.*, (1993) $5,7 \pm 0,5$ em floresta de terra firme na Amazônia Central, caracterizada como floresta densa primária.

De acordo com a classificação para coeficiente de variação (CV) feita por Wilding e Drees (1983), ($CV < 15\%$ - Baixo; $15\% < CV < 35\%$ - Moderado e $CV > 35\%$ - Alto) os valores de IAF nos campos limpo, sujo e floresta de transição (28%, 31% e 17% respectivamente) indicaram moderada variabilidade, caracterizando as áreas estudadas com formação vegetativa pouco heterogênea, sendo que a maior variabilidade no IAF ocorreu no campo sujo. Segundo Gomes e Garcia (2002), C.V. menor que 10% indicaria homogeneidade, e de acordo com Frogbrook *et al.* (2002), os valores elevados de C.V. podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados.

O IAF varia de ecossistema para ecossistema dependendo das condições de cada local, principalmente do suprimento de água e da fertilidade do solo que estabelecem a estrutura e composição florística do dossel (SANCHES *et al.*, 2008).

Não há maior variação, devido esses valores ser obtidos todos na estação chuvosa (Abril/2013), sendo assim, espera-se que sejam os maiores valores no ano, devido os próximos meses de coleta de dados serem o início da estação seca seguida por ela.

A partir da análise dos valores mínimos e máximos, e também da média dos atributos, tanto do solo como da vegetação, é possível perceber que existe grande variação nos dados. Porém, somente o conhecimento dessa amplitude não é suficiente para identificar os locais onde se encontram os altos teores e os locais onde se encontra os teores mais baixos de uma determinada variável (FERRAZ *et al.*, 2012). Os valores de mínimos e máximos são mais elevados na floresta de transição e menores no campo sujo, demonstrando que os valores do IAF no campo sujo são mais próximos da média, apresentando valores de IAF mais homogêneo em relação às outras parcelas amostrais.

Tabela 1 – Estatística descritiva para o índice de área foliar nos campos limpo, sujo e floresta de transição.

Área	Média	Desv. Padrão	CV(%)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Campo Limpo	1,72	0,48	27,90	1,80	2,86	0,70	0,08
Campo Sujo	2,03	0,64	31,33	1,27	3,95	1,40	1,87
Floresta	4,42	0,74	16,77	3,04	5,88	- 0,16	- 0,71

D. Padrão= Desvio Padrão; CV(%)= Coeficiente de Variação

A partir da análise da Tabela 1 foram encontrados valores de assimetria e curtose próximo a zero no campo limpo e floresta de transição e no campo sujo os valores estão entre 1 e 2, o que caracteriza distribuição simétrica.

Os parâmetros do semivariogramas (Figura 4.1) são apresentados na Tabela 2 com seus respectivos valores. Os semivariogramas foram ajustados no modelo esférico (Esf). Segundo Webster e Oliver (2007), este modelo matemático é o mais frequentemente utilizado em geoestatística. O efeito pepita apresentou valores baixos em todas as áreas, é um importante parâmetro do semivariograma. A partir da análise dos valores do efeito pepita ($C_0 = 0,02$ para campo limpo, $C_0 = 0,05$ para campo sujo e $C_0 = 0,13$ para floresta), constata-se o elevado grau de dependência espacial da variável entre as áreas de estudo, uma vez que quanto menor o efeito pepita, mais forte o grau de dependência espacial ($C_0 / (C_0 + C)$).

A análise geoestatística mostrou que a variável analisada apresenta dependência espacial em ambas as áreas de estudo. Cambardella *et al.*, (1994), classifica o grau de dependência espacial (GDE) como forte ($C_0 / (C_0 + C)$ menor que 25%), moderado ($C_0 / (C_0 + C)$ entre 25 e 75%) e fraco ($C_0 / (C_0 + C)$ maior que 75%), utilizando a classificação descrita por Cambardella *et al.*, (1994) o IAF da floresta de transição indica GDE moderado (74%) diferenciando-se do campo limpo e campo sujo pela fraca dependência espacial (91% e 81% respectivamente) nos pontos amostrados. O alcance de dependência espacial apresentou uma distância (m) de 8,28 no campo limpo, 35,3 no campo sujo e 11,58 na floresta de transição, a variável estudada apresentou o maior valor do alcance de dependência espacial no campo sujo, indicando maior continuidade espacial dos valores de índice de área foliar nessa área. Os menores valores de alcance foram observados no campo limpo e floresta, confirmando a maior variabilidade espacial dos valores de IAF.

Tabela 2 – Parâmetros dos semivariogramas para análise espacial do IAF

Área	Modelo	C_0	$C_0 + C$	A_0	$C_0 / (C_0 + C)$ %	R^2
Campo Limpo	Esférico	0,02	0,22	8,28	91	0,65
Campo Sujo	Esférico	0,05	0,27	35,32	81	0,91
Floresta	Esférico	0,13	0,51	11,58	74	0,84

C_0 : Efeito Pepita; $C_0 + C$: Patamar; A_0 : Alcance; $C_0 / (C_0 + C)$ %: Grau de Dependência Espacial.

Os mapas obtidos através da interpolação por krigagem (Figura 4.2) caracteriza a distribuição espacial dos valores de índice de área foliar para cada área estudada, permitindo visualizar as regiões onde se encontra os maiores valores de IAF, que se localiza

na área de floresta de transição. A partir das análises dos semivariogramas experimentais, a área que melhor se ajustou no modelo esférico foi o campo sujo caracterizando-se através do mapa como uma área homogênea, enquanto no campo limpo e floresta observa-se maior a incidência de manchas, indicativas de maior variabilidade dos dados.

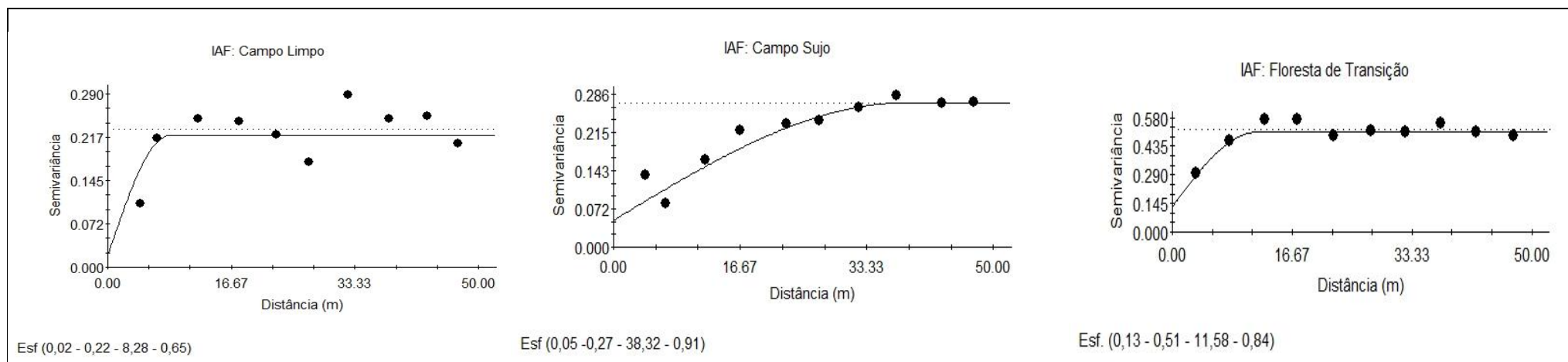


Figura 4.1 – Semivariogramas do índice de área foliar (IAF) para os campos limpo, sujo e floresta de transição. Esf (C_0 ; $C_1 + C_0$; a), Esf = modelo esférico. C_0 = efeito pepita; $C_1 + C_0$ = patamar; a = alcance.

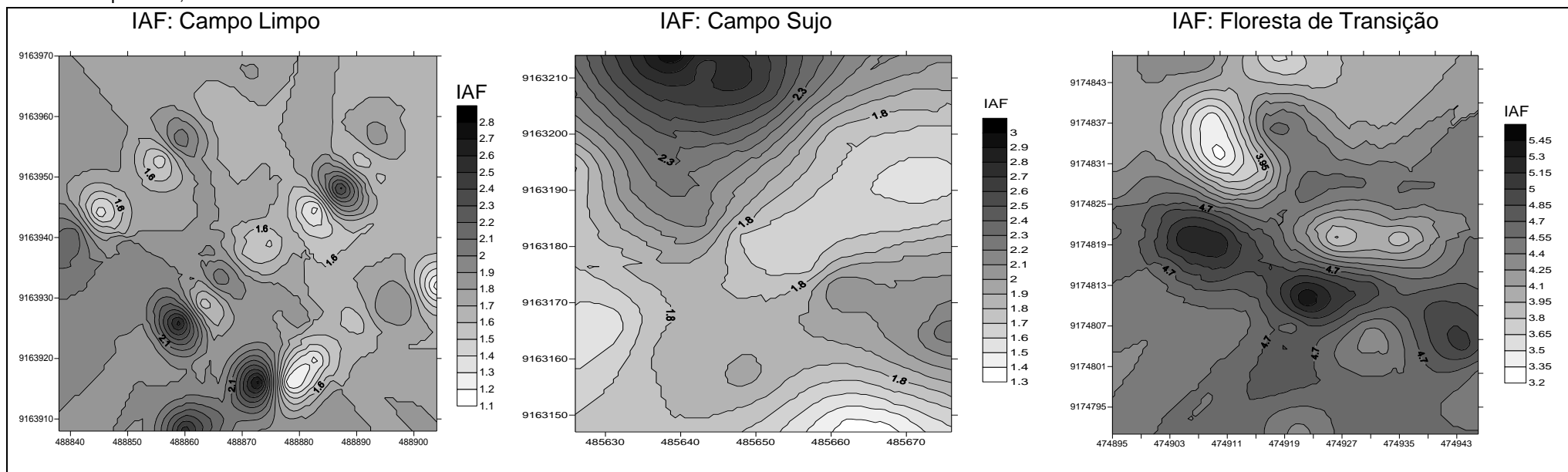


Figura 4.2 – Mapas de krigagem da distribuição espacial dos valores do IAF para campos limpo, campo sujo e floresta de transição no município de Humaitá - AM.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados, chegamos às seguintes conclusões:

- O estudo do IAF em todas as áreas amostrada indicou moderada variabilidade em seus valores, em média os maiores valores foram encontrados na floresta de transição seguidos do campo sujo e campo limpo, para o período chuvoso na região. Os valores do IAF no campo sujo são maiores que no campo limpo.

- O método (indireto) empregado no estudo se mostrou bastante eficiente na mensuração dos valores de IAF, facilitando uma maior representatividade das áreas em estudo.

- Os semivariogramas permitiram a caracterização da variabilidade espacial dos valores de índice de área foliar nas áreas dos campos limpo, sujo e floresta de transição. Houve predomínio do grau de dependência de espacial fraco nas áreas de campos e moderado na floresta.

- A interpolação por krigagem permitiu a confecção de mapas de isolinhas que permitiram a observação da variabilidade espacial e a distribuição dos valores de IAF na malha amostrada o que facilitou no encontro de padrões para cada ecossistema estudado.

4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BAMBI, P. Variação sazonal do índice da área foliar e sua contribuição na composição da serapilheira e ciclagem de nutrientes na floresta de transição no norte do Mato Grosso. 2007. 4p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

Bernardi, J.V.E. **Estudo quantitativo da estrutura da vegetação do Parque Estadual da Ilha do Cardoso - SP**. Rio Claro. 174 p. Tese (Doutorado em Geociência), Universidade Estadual Paulista - Rio Claro, 2001.

BRÉDA, N. J. J. (2003) Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, 54 (392), 2403-2417.

BROUGHAM, R.W. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.7, n.5, p.377-387, 1956.

BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**, v.38,n.1,1-9, 1968.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p. 1501-1511, 1994.

Campbell, G.S., and J.M. Norman. 1998. **An introduction to environmental biophysics**, 2nd edition. Springer, New York, NY, USA.

CARVALHO, A. M. **Caracterização física, química e mineralógica dos solos do município de Humaitá-AM**. 1986. 166 f. Tese (Livre Docência) Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 1986.

CORREIA, F. W. S. Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA), **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, 154, 2006.

CHEN, J.M.; BLACK, T.A. Foliage area and canopy architecture of plant canopies from sunfleck size distributions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 60, p. 249-266, 1992.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. 1992. GS-LIB – Geostatistical Software Library and User's Guide. New York: Oxford Univ. Press. 340 p. (com CD).

DIAS, M. A. F. S. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA, **Revista Brasileira Meteorologia**, v.21, n.3a, 190, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p. (EMBRAPA SOLOS/SPI).

ESPÍRITO-SANTO, F.D.B. Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e de inventários florestais / F. D. B. Espírito-Santo. – São José dos Campos: INPE, 2003.277p. – (INPE-10133-TDI/898).

FALESI, I.C. Solos do Distrito Agropecuário da Suframa. Bol. Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária da Amazônia Ocidental. Série: Solos. Vol. 1 (1), Manaus-Amazonas, 99p, 1971.

FROGBROOK, Z.L.; OLIVER, MA.; SALAHI, M.; ELLIS, R.H. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. *Soil use and management*, Oxford, V.18, n.1, p.1-9, Fev. 2002.

FERRAZ G.E.S; SILVA F.M; CARVALHO L.C.C.; ALVES M.C.; FRANCO B.C. **VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO FÓSFORO, PORTÁSSIO E DA PRODUTIVIDADE DE UMA LAVOURA CAFEIEIRA.** *Eng. Agric.*, v.32,n.1,p.140-150,jan/fev. 2012.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geoestatistic for the environmental sciences** (version 7.0 for windows). Michigan: 2004. 1 CD.

GOLDEN SOFTWARE INC. (Golden, Estados Unidos). **Surfer for Windows:** release 7.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide. New York, 1999. 619p.

GOMES, J. B., Leite, K. G., WEBLER, A. D., AGUIAR, R. G., Estudo do índice de área foliar, produção de biomassa e fluxos de CO₂ em uma pastagem no sudoeste da Amazônia, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16.,2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 2009.

GOMES, F.P.; GARCIA, C.H. *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais.* Piracicaba: FAEALQ, 2002. 305p.

GOWER, S.T.; KUCHARIK, C.J.; NORMAN, J.M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f_{APAR} and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 70, p. 29-51, 1999.

Guimarães E. D. **GEOESTATÍSTICA BÁSICA E APLICADA.** UFU/FAMAT, Fevereiro – 2004 Uberlândia – MG.

Graca, P. M. L.A. 2004. *Monitoramento e caracterização de áreas subm à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças.* Sao Jose dos Campos. Tese de doutorado (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p.275.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal. CD-ROM, 1997.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JONCKHEERE, I., FLECK, S., NACKAERTS K., MUYS, B., COPPIN, P., WEISS, M., BARET, F. (2004) Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, 121, 19-35.

KLINGE H. E E. MEDINA. Rio Negro caatingas and campinas, Amazonas States of Venezuela and Brazil. In R. L. Specht, editor, *Ecosystems of the World: Heathlands and related shrublands.* Ecosystems of the World, volume 9A, pages 483–488. Elsevier, Amsterdam, 1979.

Krige, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South Africa, v.52, p.151-163, 1951.

LI-COR, 1992. **LAI – 2000 Plant Canopy Analyzer. Instruction manual.** LICOR, Lincon, USA.

LUIZÃO F.J., R.C.C. LUIZÃO, AND J. PROCTOR. Soil acidity and nutrient deficiency in central Amazonian heath forest soils. *Plant Ecology*, 192(2):209–224, 10 2007. doi: 10.1007/s11258-007-9317-6.

MAGNUSSON, W.E., LIMA, A.P., LUIZÃO, R., LUIZÃO, F., COSTA, F.R.C., de CASTILHO, C.V. & KINUPP, V.P. 2005. RAPELD: a modification of the Gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. *Biota Neotropica* 5(2). <http://www.biotaneotropica.org.br/v5n2/pt/abstract?point-of-view+bn01005022005>.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*. El Paso, V. 58, p. 11246-66, 1963.

MCCLAIN, M. E., J. E. RICHEY, J. A. BRANDES, AND T. P. PIMENTEL. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the Central Amazon Basin of Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(3):295–311, 1997.

McWilliam, A.-L.C.; Roberts, J.M.; Cabral, O.M.R.; Leitao, M.V.B.R.; Costa, A.C.L.; Maitelli, G.T.; Zamparoni, C.A.G.P. 1993. Leaf area index and above-ground biomass of terra firme rain forest and adjacent clearings in Amazonia. *Functional Ecology*, 7: 310- 317.

Nanos, N.; Monteiro, G. Spatial prediction of diameter distribution models. **Forest Ecology and Management**. v.161, n.1-3, p. 147-158, May. 2002.

PRANCE, G. T. Notes on the vegetation of amazonia iii. The terminology of Amazonian forest types subject to inundation. *Brittonia*, 31(1):26–38, 1979. doi: 10.2307/2806669.

RUNNING, S. W. & COUGHLAN, J. C. 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional applications: I. Hydrological balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecological Modelling* 42: 125–154.

SANCHES, L., VALENTINI, C. M. A., PINTO JR., O. B., NOGUEIRA, J. S., VOURLITIS, G. L., BIUDES, M. S., SILVA, C. J., BAMBI, P., LOBO, F. A. (2008) Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical semdeciduous Forest of the southern Amazon Basin, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, 113, 1-9.

SOARES-FILHO, B. S., D. C. NEPSTAD, L. M. CURRAN, G. C. CERQUEIRA, R. A. GARCIA, C. A. RAMOS, E. VOLL, A. MCDONALD, P. LEFEBVRE, AND P. SCHLESINGER. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083):520–523, 2006. doi: 10.1038/nature04389.

Souza C.L. & Ponzoni F.J. 1996. **Considerações sobre transformação de dados orbitais para estimativas do índice de área foliar (IAF).** Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 965-968.

WEBSTER, R. & OLIVIER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford, Oxford University Press, 1990. 316p.

WANDELLI, E.V.; MARQUES FILHO, A.O. Medidas de radiação solar e índice foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 1, p. 57- 78, 1999.

WASSEIGE, C.; BASTIN, D.; DEFOURNY, P. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurements in Central African Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 119, p. 181–194, 2003.

WATERLOO, M. J.; ROCHA, H. R.; BINK, N. J.; OLIVEIRA, P. J.; SILVA, R. L.; ZANCHI, F. B.; HOLWEDA, F.; FREITAS, H. C.; CARRUZO, A.; GOMES, B. M. and KABAT, P. Above-ground Biomassa and Leaf Area Index in Rondônia. *J. Geophys. Research*, 2002.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on growth of fields crops. I Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v.11, p.41-76, 1947.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variacao do indice de area foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. *Rev. Árvore*, Vicosa-MG, v.26, n.4, p.421-427, 2002

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, MAARTEN J. ; ROCHA, H. R.; AGUIAR, L. J. G. ; RANDOW, C. Von ; KRUIJT, B. ; CARDOSO, F. L. ; MANZI, A. O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 39, n. 2, 2009.