

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM CAATINGA PRESERVADA

THAYSLAN RENATO ANCHIÊTA DE CARVALHO, CICERO LIMA DE ALMEIDA,
ALDÊNIA MENDES MASCENA DE ALMEIDA, MARINA FREIRE PORTO, JOSÉ CARLOS DE ARAÚJO

Universidade Federal do Ceará (UFC)
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Engenharia Agrícola

<t_sren@hotmail.com>, <climaal@hotmail.com>, <ald_m_m@hotmail.com>,
<marina.fporto@gmail.com>, <jcaraujo@ufc.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v11i1.1070

Resumo. O índice de área foliar (IAF) é um parâmetro biofísico que tem influência sobre vários processos ambientais, tais como fotossíntese, transpiração e balanço de radiação da superfície, sendo um importante parâmetro de entrada de modelos ecológicos. No bioma Caatinga ainda são escasso informações sobre o IAF e os fatores que o afetam direta e indiretamente seu valor. O estudo teve como objetivo avaliar a massa foliar específica (MFE) e o índice de área foliar para três tipos de associação solo-vegetação (ASV) em uma área de Caatinga preservada. O estudo foi realizado na Bacia Experimental de Aiuaba (BEA) por meio do método de coleta de serrapilheira. Duas unidades fitossociológicas em cada ASV foram levantadas para identificação das espécies e obtenção da massa foliar específica. A MFE média das 17 espécies encontradas nas três ASVs foi de $56,6 \text{ g m}^{-2}$. Os resultados demonstraram que os valores de IAF na ASV3 ($1,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) foram inferiores ao da ASV1 ($2,7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) influenciado principalmente pelo tipo de solo. Os resultados dessa pesquisa contribuem para ampliar o conhecimento do valor do IAF no bioma Caatinga.

Palavras-chaves: Região semiárida. Florestas decíduas. Coletor de serrapilheira.

Abstract. The leaf area index (LAI) is a biophysical parameter that influences various environmental processes such as photosynthesis, transpiration and surface radiation balance, being an important input parameter of ecological models. In Caatinga biome are still scarce information about the LAI and the factors that directly and indirectly affect its value. The study aimed to evaluate the specific leaf mass (SLM) and leaf area index for three kinds of soil-vegetation association (SVA) in a area preserved of Caatinga. The study was conducted at the Aiuaba Experimental Basin (AEB) through the litter traps method. Two phytosociological units in each ASV were raised to species identification and achievement of specific leaf mass. SLM average of the 22 species found in the three ASVs was 56.6 g m^{-2} . The results showed that the LAI in ASV3 ($1.8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) were lower than the ASV1 ($2.7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) mainly affected by soil type. The results of this research contribute to the understanding of the IAF's value in the Caatinga biome.

Keywords: Semiarid region. Deciduous forests. Litter traps.

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida ocupa cerca de 12% do território brasileiro, onde predomina o bioma Caatinga. A Caatinga (ou "mata branca", no idioma Tupi) é um bioma exclusivamente do Brasil, ocupando uma área superior a 800.000 km^2 , que tem sido fortemente degradada pela ação antrópica (FIGUEIREDO et al., 2012).

A Caatinga é composta por uma mistura complexa de espécies lenhosas decíduas e herbáceas. Esse bioma tem um grande número de associações de plantas e complexos florísticas com diferentes fisionomias, incluindo xerófila, árvores de folha caduca, arbustos espinhosos, cactos e bromélias (BARBOSA; HUETE; BATHGEN, 2006; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO,

2009; MAIA, 2012). As plantas da Caatinga apresentam diversas adaptações fisiológicas às condições estressantes, sendo o estudo dessas adaptações importante para o entendimento dos ecossistemas do semiárido. Entre as adaptações das plantas desse bioma destaca-se a caducifolia, o que possibilita por meio dessa característica estimar o índice de área foliar (IAF) de uma espécie ou comunidade através da coleta de suas folhas.

O índice de área foliar é definido como sendo área total da face das folhas por unidade de área da sombra da copa projetada, de forma perpendicular, na superfície do solo (WATSON, 1947; ASNER; SCURLOCK; HICKE, 2003). Por esta definição o IAF é uma medida adimensional (também expressa em $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$). O IAF é uma variável biofísica que tem influência sobre vários processos superficiais, tais como fotossíntese, transpiração e balanço de radiação da superfície, por isso é um dos mais importantes parâmetros de entrada de modelos ecológicos (BREDA, 2003; ISHIHARA; HIURA, 2011; YAN et al., 2012). O IAF representa a interface entre o ecossistema e a atmosfera, sendo de difícil estimativa devido sua variabilidade espacial (horizontal e vertical) e temporal (ciclos anuais e interanual) (BREDA, 2003; WANG et al., 2005).

Breda (2003) e Jonckheere et al. (2004) apresentam uma revisão dos muitos métodos que podem ser utilizados para estimar o IAF, a aplicação de cada método depende de vários fatores como, nível de precisão, destruição da planta, tipo de planta (herbácea, arbustiva ou arbórea), se de um indivíduo ou de uma comunidade de plantas, etc. Para florestas que tem como característica a caducifolia, como no caso da Caatinga, o método da coleta de serrapilheira é frequentemente o mais utilizado, por não ser destrutivo. O método consiste na coleta de folhas em armadilhas distribuídas abaixo do dossel durante o período de queda das folhas (período de senescência), fornecendo uma medição integrada para o IAF, contudo sem medida do IAF no período de desenvolvimento foliar (JONCKHEEREA et al., 2004). Muitos estudos têm empregado a coleta de serrapilheira para estimar o IAF em regiões de vegetação decíduas (M; C; A, 2005; WANG et al., 2005; ISHIHARA; HIURA, 2011; QI; JIN; LIU, 2013; LIU et al., 2015).

A estimativa da massa foliar específica (MFE) é o ponto mais crítico desse método. A MFE pode mudar com as espécies (CHASON; BALDOCCHI; HUSTON, 1991; NIINEMETS; KULL, 1994), com a fertilidade do solo (VANSEVEREN; HERBAUTS, 1977; JURICK, 1986; BURTON; PREGITZER; REED, 1991), com variáveis climáticas (HARDWICK et al., 2015), com o período do ano, com a duração de permanência

dos coletores, com o tempo e até mesmo dentro da comunidade vegetal (BOURIAUD; SOUDANI; BREDA, 2003). A classificação das folhas por espécie para pesagem e estimativa da MFE é de grande importância, pois a coleta de serrapilheira é o único método que permite o conhecimento da contribuição de cada espécie para o índice de área foliar.

Dada à importância do IAF, nenhum trabalho havia sido desenvolvido no bioma Caatinga com o objetivo de avaliá-lo através de medições diretas. Encontram-se apenas alguns trabalhos que estimaram seu valor com base em modelos e de forma indireta, porém sem validá-los, por exemplo, Nascimento e Brito (2007) e Pinheiro et al. (2016). Ambos os trabalhos subestimam o valor do IAF para o bioma Caatinga. O desconhecimento ou a estimativa de forma errôneas do IAF pode levar a sérios erros na previsão de modelos ecológicos, hidrológicos e fisiológicos (GOWER; KUCHARIK; NORMAN, 1999; PFEIFER et al., 2014). Mais especificamente o IAF pode ser utilizado como parâmetro para: modelar a fotossíntese, respiração e acúmulo de matéria seca em seringueiras, podendo ser importante na gestão da produção (XIE et al., 2010), avaliar a absorção de nitrogênio na cultura do arroz (ATA-ULKARIM et al., 2014), simular escoamento superficial (TESEMMA et al., 2015), simular evapotranspiração e produtividade primária bruta da vegetação (CAO et al., 2015), avaliar a distribuição de água no sistema solo-planta-atmosfera para uma área de Caatinga preservada (PINHEIRO et al., 2016).

Diante o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a massa foliar específica e o índice de área foliar, por meio do método da coleta de serrapilheira, para três associações solo-vegetação presente numa área de Caatinga preservada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Bacia Experimental de Aiuaba (BEA) localizada entre as coordenadas 6°42'S; 6°44'S e 40°16'W; 40°18'W (Figura 1), sendo monitorada pelo grupo Hidrosed (Grupo de Pesquisa Hidrosedimentológicas do Semiárido - <http://www.hidrosed.ufc.br>) desde 2003. A BEA é parte integrante da Estação Ecologia de Aiuaba, estabelecida em 1978, gerenciada desde então pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A BEA possui uma área de 12 km² inserida dentro da região semiárida do Brasil, com precipitação média anual de 560 mm, com alta variabilidade interanual e intra-anual da precipitação com uma evaporação potencial média de 2.500 mm anuais. O período

chuvoso concentra-se entre os meses de janeiro e maio com temperatura média anual de 25°C. O uso e ocupação do solo predominante é Caatinga arbustiva arbórea, completamente preservada (COSTA et al., 2013; PINHEIRO; COSTA; ARAUJO, 2013).

Inicialmente, foi realizado levantamento fitossociológico, sendo para isso, demarcadas em cada associação solo-vegetação (ASV) duas unidades fitossociológicas com 10 m de largura por 20 m de comprimento. O levantamento teve como principal objetivo identificar a diversidade de espécies presentes em cada ASV. As três associações de solo-vegetação (1) foram inicialmente definidas por Pinheiro, Costa e Araujo (2013).

Para coleta de serrapilheira, foram distribuídos cinco coletores de serrapilheira em cada ASV dentro da BEA, perfazendo um total de 15 coletores. Os coletores foram confeccionados de madeira com área de 0,25 m², sendo instalados a 10 cm do solo (Figura 2).

O método escolhido para estimativa do IAF foi um dos utilizados por Ishihara e Hiura (2011). O método assume que o total da biomassa das folhas que caem no coletor de serrapilheira (M_s , g m⁻²) pode ser dividido igualmente por cada uma das espécies que compõem a unidade fitossociológica. O IAF do coletor de serrapilheira foi estimado pela Equação 1.

$$IAF = MFE_m \times \frac{A}{M_s} \quad (1)$$

Onde: MFE_m é a massa foliar específica média (g m⁻²), M_s é a massa da serrapilheira coletada (g) e A é a área do coletor de serrapilheira (m²).

A massa foliar específica (MFE) de cada espécie foi estimada utilizando amostra de folhas coletadas em diferentes posições da copa, folhas do topo que recebem maior incidência de raios solares e folha das partes sombreada da copa. A área das folhas amostradas foi obtida por meio de um integrador de área foliar (modelo LI-3100 LICOR) e, em seguida, as folhas foram secadas em estufa durante 48 horas a uma temperatura de 65°C e posteriormente pesadas. A MFE para cada espécie foi obtida dividindo-se a massa de suas folhas (g) amostradas pela respectiva área foliar (m²). Já a massa foliar específica em cada ASV foi obtido pela a partir da média da massa foliar específica (MFE) de cada espécie presente na ASV.

As coletas de serrapilheira foram realizadas mensalmente, principalmente durante o período de maior queda das folhas entre os meses de julho e setembro de 2014. Assim, o conhecimento do IAF de cada ASV somente é possível após o final do período de senescência. Os índices de área foliar obtidos em cada ASV foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a fim

de testar se há diferença estatística em virtude da associação do solo-vegetação, em seguida submetidos ao teste de comparação de média de Duncan. A análise estatística foi realizada no Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a massa foliar específica (MFE) das espécies encontradas nas unidades fitossociológicas. A identificação das espécies foi realizada pelo herbário Prisco Bezerra, da Universidade federal do Ceará. Algumas espécies não foi possível sua identificação durante o período de monitoramento, pois são necessário à presença de partes reprodutivas e vegetativas da planta. Assim, foram coletadas somente as folhas para avaliação da MFE daquelas plantas não identificadas.

A massa foliar específica média obtida foi de 76,8 (±22,1) g m⁻² para as vinte e duas espécies avaliadas. A MFE mínima encontrada foi de 46,1 g m⁻² para a *Euphorbiaceae Crotonblanchetianus* e a máxima de 122,5 g m⁻² para *Aspidosperma pyrifolium* considerando tanto as folhas de topo que recebem maior radiação e as folhas de sombra. A massa foliar específica obtida nesta pesquisa encontra-se ligeiramente acima dos valores dos levantados por Ishihara e Hiura (2011), Eriksson et al. (2005) e Breda (2003), mas com valor médio dentro da faixa de máximo e mínimo observado pelos trabalhos.

Ishihara e Hiura (2011) apontam que é possível avaliar o IAF por meio da utilização da MFE, bem como pela área foliar específica (AFE, m² g⁻¹). Na ocasião, os autores encontraram a massa foliar específica média de 56,6 g m⁻² para 17 espécies avaliadas, com mínima de 38,9 g m⁻² e máxima de 73,5 g m⁻², valores um pouco abaixo dos limites observados na Tabela 2.

Breda (2003) encontrou MFE variando entre 26,3 g m⁻² e 83,3 g m⁻² para espécies de folha larga. Segundo ele, a estimativa da massa foliar específica ou a área foliar específica é o ponto mais crítico quando se utiliza o método de coleta de serrapilheira, pois o índice varia de acordo com as diferentes espécies, tipo e fertilidade do solo e época do ano.

Eriksson et al. (2005) encontrou em uma floresta caducifolia temperada, MFE variando entre 32,4 g m⁻² e 104,2 g m⁻² e verificou que a MFE foi 67% menor nas folhas de topo do que a MFE nas folhas de sombra, destacando a importância das coletas de folhas de diferentes posições da copa para evitar erro na estimativa do IAF.

O índice de área foliar obtidos em cada coletor nas três associações de solo-vegetação na BEA variaram de 1,4 a 3,3 m² m⁻², com os valores menores observados

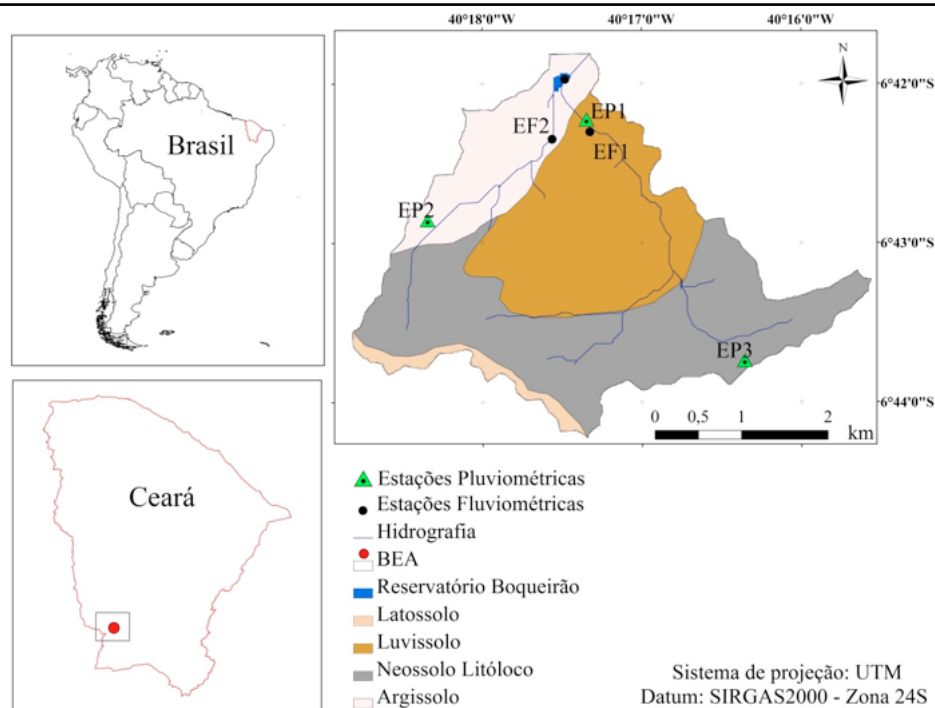


Figura 1: Localização da Bacia Experimental de Aiuaba (BEA).

Tabela 1: Coeficientes do Modelo de Previsão de Inadimplência

ASV	Espécie representativa da vegetação	Classe de solo	Ocupação na BEA (km ² /%)
ASV1	Catingueira (<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul)	LUVISSOLO CRÔMICO	6,84 / 57
ASV2	Angelim (<i>Piptadenia obliqua</i>)	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO	1,32 / 11
ASV3	Jurema-preta (<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir)	LATOSSOLO LITÓLICO	3,84 / 32

Fonte: Adaptado Pinheiro, Costa e Araujo (2013)



Figura 2: Coletor de serrapilheira.

principalmente na ASV3. No entanto, a análise de variância do IAF apresentada na Tabela 3 não apresentou diferença significativa ($\alpha > 5\%$) entre os IAFs observados para as três ASVs.

O IAF médio do ano de 2014 foi de 1,8, 2,4 e 2,7 m² m⁻² para a ASV1, ASV2 e ASV3, respectivamente. Embora a ANOVA não tenha apresentado diferença significativa entre os valores de IAF, estes foram submetidos ao teste de comparação de média de Duncan (Tabela 4). Na Tabela 4 observa-se que a ASV1 apresentou os maiores valores de IAF variando de 2,2 à 3,3 m² m⁻² não diferindo estatisticamente da ASV2 pelo teste de Duncan ($\alpha > 5\%$ cujo IAF variou de 2,2 à 3,3 m² m⁻²). Já ASV3 apresentou os menores valores de IAF variando de 1,8 a 2,7 m² m⁻².

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM CAATINGA PRESERVADA

Tabela 2: Massa foliar específica das espécies avaliadas nas seis unidades fitossociológica localizadas nas três ASVs em Aiuaba, CE, em 2014

Identificação	Nome popular	Espécie	Massa foliar específica (g m ⁻²)
Espécie 1	Marmeleiro	<i>Euphorbiaceae Crotonblanchetianus</i>	46,06
Espécie 2	-	<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L. P. Queiroz	75,96
Espécie 3	-	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	94,56
Espécie 4	Juazeiro	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	74,00
Espécie 5	-	*	54,95
Espécie 6	Angico	<i>Anadenanthera colubrina</i>	99,45
Espécie 7	-	*	60,75
Espécie 8	Cipauíba	*	63,85
Espécie 9	-	*	117,35
Espécie 10	-	*	86,61
Espécie 11	-	*	89,29
Espécie 12	-	*	90,33
Espécie 13	Pereiro	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	122,49
Espécie 14	Fruta de pombo	<i>Erythroxylum caatingae</i> Plowman	63,34
Espécie 15	Imburana	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B Gillett	62,77
Espécie 16	Jurema branca	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	90,72
Espécie 17	Jurema preta	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	54,94
Espécie 18	Caatingueira	<i>Fabaceae-Caes. Poincianella bracteosa</i>	102,51
Espécie 19	Pinhão	<i>Euphobiaceae Jatropha curcas</i> L.	66,36
Espécie 20	Mucunã	<i>Dioclea grandiflora</i>	46,92
Espécie 21	Unha de gato	<i>Fabaceae-Mim. Senegaliatenuifolia</i>	50,98
Espécie 22	Guachumba	<i>Boraginaceae Varronia leucocephala</i>	74,64
Média ± desvio-padrão			76,76 ± 22,08

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) dos índices de área foliar obtidos para as três Associações de Solo-Vegetação (ASV) na BEA

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamento	2	188,69	0,943	3,377 ns
Resíduo	12	335,29	0,279	
Total	14	523,98		

ando de 1,5 à 2,8 m² m⁻², apresentando diferença estatística em relação ASV1 pelo teste de Duncan ($\alpha > 5\%$), mas com similar valor ao da ASV2.

Tabela 4: IAF médio para as três ASVs na BEA, Aiuaba - CE para o ano de 2014

Tratamento	n	Média ¹	Desvio-padrão
ASV1	5	2,7 a	0,45
ASV2	5	2,4 ab	0,64
ASV3	5	1,8 b	0,47

¹Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo Teste de Duncan, a 5%.

O menor valor de IAF na ASV3 deve-se provavelmente ao seu tipo de solo, Neossolos Litólicos, que

apresenta maior limitação física ao desenvolvimento da vegetação em relação, principalmente a ASV1, como apresentam os trabalhos de Pinheiro, Costa e Araujo (2013) sobre profundidade efetivas das raízes e de Costa et al. (2013) sobre o comportamento da umidade do solo nesta área. Em geral os solos da ASV3 são mais superficiais e mais arenosos do que os das outras ASVs, que limita a capacidade de armazenamento de água.

Poucos são os trabalhos realizados no bioma Caatinga a fim de obter e investigar as diferentes variáveis ou componentes que podem exercer efeito direto ou indireto sobre o valor do IAF. Entre os estudos sobre o IAF que envolve o bioma Caatinga encontram-se os de Nascimento e Brito (2007) e COSTA et al. (2009), Costa et al. (2002) que observaram valores próximos ao obtidos neste trabalho, quanto aos seus valores máxi-

mos (entre 2,0 e 3,1 m² m⁻²).

A maioria dos trabalhos sobre o IAF estão concentrados em outras regiões como os de Liu et al. (2015) em floresta mista com árvores perenifólias e caducifólias na China, de Ishihara e Hiura (2011) em florestas temperadas frias no Japão e outros como Santana e Encinas (2011) e SANCHES et al. (2008) em região de transição entre a floresta Amazônica e o Cerrado.

Em outras florestas caducifólias de regiões temperadas e regiões áridas de outras partes do mundo os valores de IAF em geral são superiores ao observado neste trabalho. Qi, Jin e Liu (2013) em uma floresta temperada nas montanhas de Xiaoxing no nordeste da China, obtiveram um IAF de 6,6 (±1,3) m² m⁻². Wang et al. (2005) na floresta de Hesse, França observaram valores próximos à 7 m² m⁻². No entanto, Sprintsin et al. (2011) em um plantio de *Pinus halepensis* no semiárido, localizada entre as zonas áridas e semiáridas na borda dos desertos da Judéia e Negev obtiveram IAF em torno de 1,8 m² m⁻² próximo ao limite inferior observado neste trabalho. Qi et al. (2000) em uma região semiárida do Arizona ao estimarem o IAF por meio de imagens de satélite observaram valores próximos a 3 m² m⁻², no entanto ressaltam que o procedimento é razoável para sua estimativa. Eriksson et al. (2005) encontraram valores de IAF variando entre 2 e 5 m² m⁻², nesse caso, assemelhando-se aos da Caatinga.

Liu et al. (2015) avaliaram o IAF de uma floresta mista com árvores perenifólias e caducifólias na China que podem atingir valores de 8,5 m² m⁻² de IAF, valores parecidos com os observados por Ishihara e Hiura (2011) que podem atingir cerca de 7,0 m² m⁻². O que favorece o desenvolvimento da vegetação, gerando consequentemente maior IAF é o clima úmido no qual a precipitação é superior a evapotranspiração nas duas regiões.

Muito ainda há de se estudar sobre o IAF no bioma Caatinga, como a dinâmica observada por Wang et al. (2005) em floresta caducifólias ao observarem após cinco anos de estudo que o IAF apresenta três fases, a primeira o período de produção das folhas, a segunda o período de área foliar constante e a terceira o período de senescência das folhas, ou seja, queda das folhas. Por meio do método de coleta de serrapilheira somente é possível acompanhar as duas últimas fases, devido a limitação do próprio método. Uma alternativa para obter a evolução do IAF na fase de crescimento das folhas é o uso de outras técnicas ou métodos para estimá-lo, como o uso do sensoriamento remoto, com seus índices de vegetação espectral.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a amostragem de folhas, das diferentes espécies, para estimativa da massa foliar específica é fundamental para obtenção do índice de área foliar. O método da coleta de serrapilheira apresenta-se como uma boa alternativa para obtenção do índice de área foliar do bioma Caatinga.

Os valores médios do índice de área foliar observados nas três associações de solo-vegetação variaram de 1,8 a 2,7 m² m⁻² na Bacia Experimental de Aiuaba, sendo o índice de área foliar influenciado por fatores como o tipo de solo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento do Projeto CERES (nº 473061/2012-0), à CAPES, pela concessão de bolsa de doutorado e mestrado ao primeiro autor e segundo autor, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 126 – 135, 2009.
- ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology and Biogeography*, v. 12, p. 191 – 205, 2003.
- ATA-UL-KARIM, S. T.; ZHU, Y.; YAO, X.; CAO, W. Determination of critical nitrogen dilution curve based on leaf area index in rice. *Field Crops Research*, v. 167, p. 76 – 85, 2014.
- BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of ndvi variability over the northeast region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, n. 2, 2006.
- BOURIAUD, O.; SOUDANI, K.; BRED, N. Leaf area index from litter collection: impact of specific leaf area variability within a beech stand. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 3, p. 371 – 380, 2003.
- BRED, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, v. 54, n. 392, p. 2403 – 2417, 2003.
- BURTON, A. J.; PREGITZER, K. S.; REED, D. D. Leaf area and foliar biomass relationships in northern

- hardwood forests located along an 800 km acid deposition gradient. *Forest Science*, v. 37, p. 1041 – 1059, 1991.
- CAO, X.; ZHOUB, Z.; CHENB, X.; SHAOB, W.; WANGA, Z. Improving leaf area index simulation of ibis model and its effect on water carbon and energy—a case study in changbai mountain broadleaved forest of china. *Ecological Modelling*, v. 303, p. 97 – 104, 2015.
- CHASON, J. W.; BALDOCCHI, D. D.; HUSTON, M. A. A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 57, p. 107 – 128, 1991.
- COSTA, C. A. G.; LOPES, J. W. B.; PINHEIRO, E. A. R.; ARAUJO, J. C. de; FILHO, R. R. G. Spatial behaviour of soil moisture in the root zone of the caatinga biome. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 4, p. 685 – 694, 2013.
- COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do seridó (rn/pb). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 961, p. 974, 2009.
- COSTA, T. C. e Castro da; ACCIOLY, L. J. de O.; OLIVEIRA, M. A. J. de; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. da. Phytomass mapping of the “seridó caatinga” vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. *Scientia Agrícola*, v. 59, p. 707 – 715, 2002.
- ERIKSSON, H.; EKLUNDH, L.; HALL, K.; LINDROTH, A. Estimating lai in deciduous forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 129, p. 27 – 37, 2005.
- FIGUEIREDO, J. M.; ARAUJO, J. M.; PEREIRA, O. N.; BAKKE, I. A.; BAKKE, O. A. Revegetation of degraded caatinga sites. *Journal of Tropical Forest Science*, v. 24, n. 3, p. 332 – 343, 2012.
- GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing Environments*, v. 70, p. 29 – 51, 1999.
- HARDWICK, S. R.; TOUMI, R.; PFEIFER, M.; R., E. T.; R., N.; EWERS, M. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 201, p. 187 – 195, 2015.
- ISHIHARA, M. I.; HIURA, T. Modeling leaf area index from litter collection and tree data in a deciduous broadleaf forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, n. 7, p. 1016 – 1022, 2011.
- JONCKHEEREA, I.; FLECKA, S.; NACKAERTSA, K.; MUYSA, B.; COPPINA, P.; WEISSB, M.; BARETC, F. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part i. theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 121, p. 19 – 35, 2004.
- JURICK, T. W. Temporal and spatial patterns of specific leaf weight in successional northern hardwood tree species. *American Journal of Botany*, v. 78, p. 1083 – 1092, 1986.
- LIU, Z.; CHEN, J. M.; JIN, G.; QI, Y. Estimating seasonal variations of leaf area index using litterfall collection and optical methods in four mixed evergreen–deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 209-210, p. 36 – 48, 2015.
- M, K.; C, C.-A. J.; A, S.-A. G. Calibration and assessment of seasonal changes in leaf area index of a tropical dry forest in different stages of succession. *Tree Physiology*, v. 25, n. 6, p. 733 – 744, 2005.
- MAIA, G. N. *Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades*. : Fortaleza, 2012.
- NASCIMENTO, R. S.; BRITO, J. I. B. Modelo de vegetação potencial para a região nordeste decorrente da precipitação pluvial. *Bragantia*, v. 66, n. 3, p. 511 – 519, 2007.
- NIINEMETS, U.; KULL, K. Leaf weight per area and leaf size of 85 estonian woody species in relation to shade tolerance and light availability. *Forest Ecology and Management*, v. 70, p. 1 – 10, 1994.
- PFEIFER, M.; LEFEBVRE, V.; GONSAMO, A.; PELLIKKA, P. K. E.; MARCHANT, R.; DENU, D.; PLATTS, P. J. Validating and linking the gimms leaf area index (lai3g) with environmental controls in tropical africa. *Remote Sensing*, v. 6, n. 3, p. 1973–1990, 2014.
- PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; ARAUJO, J. de. Effective root depth of the caatinga biome. *Journal of Arid Environments*, v. 89, p. 1 – 4, 2013.
- PINHEIRO, E. A. R.; METSELAAR, K.; LIER, Q. de Jong van; ARAÚJO, J. C. de. Importance of soil-water to the caatinga biome, brazil. *Ecohydrology*, v. 9, n. 7, p. 1313 – 1327, 2016.

- QI, J.; KERR, Y. H.; MORAN, M. S.; WELTZ, M.; HUETE, A.; SOROOSHIAN; BRYANT, R. Leaf area index estimates using remotely sensed data and brdf models in a semiarid region. *Remote Sensing of Environment*, v. 73, n. 1, p. 18 – 30, 2000.
- QI, Y.; JIN, G.; LIU, Z. Optical and litter collection methods for measuring leaf area index in an old-growth temperate forest in northeastern china. *Journal of Forest Research*, v. 18, n. 5, p. 430 – 439, 2013.
- SANCHES, L.; ANDRADE, N. L. R.; NOGUEIRA, J.; BIUDES, M.; VOURLITIS, G. Índice de área foliar em floresta de transição amazônia cerrado em diferentes métodos de estimativa. *Ciência e Natura*, v. 30, p. 57 – 69, 2008.
- SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I. Leaf area index and canopy openness estimation using high spatial resolution image quickbird. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 59 – 66, 2011.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: *WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE*, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009.
- SPRINTSIN, M.; COHEN, S.; MASEYK, K.; ROTENBERG, E.; GRUNZWEIG, J.; KARNIELI, A.; BERLINER, P.; YAKIR, D. Long term and seasonal courses of leaf area index in a semi-arid forest plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, n. 5, p. 565 – 574, 2011.
- TESEMMA, Z.; WEI, Y.; PEEL, M.; WESTERN, A. The effect of year-to-year variability of leaf area index on variable infiltration capacity model performance and simulation of runoff. *Advances in Water Resources*, v. 83, p. 310 – 322, 2015.
- VANSEVEREN, J. P.; HERBAUTS, J. Index foliaire, paramètres foliaires et caractéristiques édaphiques stationnelles dans quelques peuplements forestiers de lorraine belge. *Annales des Sciences Forestières*, v. 34, p. 215–229, 1977.
- WANG, Q.; ADIKU, S.; TENHUNEN, J.; GRANIER, A. On the relationship of ndvi with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, v. 94, n. 2, p. 244 – 255, 2005.
- WATSON, D. J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. i. variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, v. 11, p. 41 – 76, 1947.
- XIE, G.; CHEN, B.; WANG, J.; WU, Z.; HUANG, Y. Studies on the simulation model of photosynthesis and dry matter accumulation for rubber tree. *Chinese Science Bulletin*, v. 26, p. 317 – 323, 2010.
- YAN, H.; WANG, S.; BILLESBACH, D.; OECHEL, W.; ZHANG, J.; MEYERS, T.; MARTIN, T.; MATAMALA, R.; BALDOCCHI, D.; BOHRER, G.; DRAGONI, D.; SCOTT, R. Global estimation of evapotranspiration using a leaf area index-based surface energy and water balance model. *Remote Sensing of Environment*, v. 124, p. 581 – 595, 2012.