

RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, ESTIMADO ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO, E PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS EM FLORESTA IMPLANTADA DE *PINUS SPP.*

Claudia Linhares de Sousa
Flávio Jorge Ponzoni

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas 1758 - 12227-010 - São José dos Campos - SP - Brasil
{linhares, flavio}@ltid.inpe.br

Abstract: The objective of this study was to evaluate the relationship between dendrometric parameters and Leaf Area Index (LAI), indirectly estimated using the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, for mature and dense *Pinus spp.* stands. The dendrometric data were obtained from traditional forest inventories and were related to LAI collected in field. Regression models were defined and the results showed that relationships between dendrometric data were coherent with the literature results; however, LAI values estimated by LAI-2000, were poorly related to those data for mature and dense *Pinus spp.* stands. This result showed that vegetation indices generated by orbital images, can present limitations to estimate dendrometric data for primary forests, that are as dense as the forest studied in this work and have more complex architecture.

Key words: Leaf Area Index (LAI), vegetation indices, biophysical parameters.

1. Introdução

As técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) têm sido amplamente utilizadas em estudos e aplicações na área florestal, destacando-se os projetos que visam a quantificação de biomassa florestal, com o objetivo de conhecer a efetiva contribuição do Brasil nas emissões de CO₂, devido à utilização/destruição de seus recursos naturais, sobretudo na região amazônica. Para estudos da cobertura vegetal, além dos tradicionais mapeamentos que discretizam a vegetação em classes fisionômicas, ênfase tem sido dada à quantificação de parâmetros biofísicos e às relações existentes entre eles. Parâmetros biofísicos caracterizam a arquitetura de um dossel e incluem a biomassa (peso seco por unidade de área) e o Índice de Área Foliar (IAF).

Estimativas de biomassa florestal através de SR podem ser realizadas mediante a utilização de dados coletados em níveis de campo, aeronave ou orbital. Em qualquer um destes níveis, tem sido explorada, entre outras, a relação entre IAF e biomassa. O IAF é um importante parâmetro biofísico da vegetação e é definido como sendo a área foliar total projetada por unidade de área de terreno (m²/m²) (Daughtry, 1990; Gower e Norman, 1991; Curran et al., 1992). Sua importância deve-se à relação com a biomassa vegetal (Goel, 1989) e por caracterizar a arquitetura do dossel, justificando a diversidade de estudos em SR envolvendo estimativas deste parâmetro. Estas estimativas permitem uma avaliação das condições fisionômicas e fisiológicas dos dosséis (Asrar et al., 1989) e análises quantitativa e qualitativa das trocas energia/matéria ocorridas nos mesmos (Curran et al., 1992; Gong et al., 1992).

Em campo, o IAF pode ser estimado através de métodos diretos ou indiretos (Daughtry, 1990), onde nos métodos diretos, a área foliar é estimada diretamente a partir de medidas métricas

(largura, comprimento, área e perímetro) e de peso realizadas sobre as folhas, sendo mais precisos, apesar de demorados e trabalhosos (Goel e Norman, 1990). Nos métodos indiretos, o IAF é estimado indiretamente a partir de registros de **Radiação EletroMagnética (REM)** interceptada e não interceptada pela vegetação. Os métodos indiretos são mais rápidos, práticos e eficientes, otimizando operacionalmente a estimativa do IAF (Welles, 1990), apesar de serem menos precisos que os métodos diretos. Dentre os métodos indiretos para estimativa do IAF em campo, o instrumento que tem sido mais usado é o LAI-2000 “Plant Canopy Analyzer” (Gower e Norman, 1991; Gong et al., 1992). O LAI-2000 fornece alguns parâmetros biofísicos dos dosséis, como o IAF, a Distribuição Angular de Folhas (DAF) e clareiras do dossel (GAP), através de medidas radiométricas. A detecção da radiação em cinco ângulos zenitais diferentes (7° , 23° , 38° , 53° e 68°) e o uso de uma lente olho-de-peixe garantem, respectivamente, uma medida quantitativa da radiação penetrante no dossel (não sendo necessária a coleta de dados em vários horários do dia) e uma amostragem representativa da folhagem. O cálculo automático do IAF é realizado através da introdução destas medidas em um modelo de transferência radiativa (LI-COR, 1992).

Imagens orbitais também constituem uma fonte de dados para a aplicação dos métodos indiretos e não destrutivos de estimativa do IAF. A radiância espectral refletida pelos dosséis é influenciada, além dos parâmetros biofísicos, por outros relacionados às geometrias de iluminação e de visada e pelas propriedades espectrais dos elementos da vegetação que os constitui (folhas, galhos, troncos, entre outros). De maneira geral é esperado que quanto maior o IAF, menor o valor de radiância espectral referente às regiões do visível (380 a 720 nm) e do infravermelho médio (1300 a 3000 nm), devido à maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes absorvendo REM incidente e quantidade de água, respectivamente, e maior valor na região do infravermelho próximo (720 a 1300 nm), devido ao maior espalhamento múltiplo entre folhas (Curran et al., 1992). Baseado nesse fato, foram desenvolvidos os chamados índices de vegetação, gerados a partir dos valores de radiância refletida nas bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, cuja relação com o IAF têm sido demonstrada por diversos estudos.

A estimativa do IAF a partir de dados de SR visa, entre outros, a extração de informações dendrométricas da área em estudo, tais como altura, volume, área basal, **Diâmetro à Altura do Peito (DAP)** e idade, que caracterizam os plantios florestais quanto ao grau de desenvolvimento. As relações entre estas grandezas são conhecidas, comprovadas e descritas na literatura. Dentre as relações mais citadas destaca-se a existente entre idade e altura, onde plantios mais velhos apresentam alturas médias maiores, dependendo do índice de sítio (Loetsch et al., 1973; Husch et al., 1982; Philip, 1983; Sorrentino, 1986). Loetsch et al. (1973) e Philip (1983) também relacionaram o aumento do volume de madeira com o aumento da idade. Já o DAP está positivamente correlacionado com a altura (Husch et al., 1982; Sorrentino, 1986) e com o volume (Loetsch et al., 1973; Sorrentino, 1986), enquanto a área basal está positivamente correlacionada com a idade (Philip, 1983) e com o DAP (Loetsch et al., 1973). Marshall e Waring (1986), Campbell e Norman (1989) e Gower e Norman (1991) relatam a existência de uma forte correlação entre área foliar e DAP. Uma vez que a área foliar está relacionada com o DAP e este com o volume de madeira, supõe-se que o volume de madeira também esteja relacionado com o IAF. A comprovação destas relações permite que sejam possíveis estimativas de IAF a partir de dados dendrométricos e vice-versa.

A análise destas relações em ambiente de floresta heterogênea é bastante dificultada: 1) devido à grande diversidade florística, fisionômica e fenológica; 2) devido à pouca disponibilidade de dados quantitativos de biomassa coletados em nível de campo, bem como daqueles de SR e 3) devido aos problemas das mais variadas ordens, que incluem cobertura de nuvens, periodicidade das imagens coincidente com levantamentos de dados em campo, por exemplo. Desta forma, as florestas implantadas apresentam algumas vantagens por serem constituídas por pelo menos um gênero cobrindo extensas áreas, serem inventariadas regularmente quanto ao estado fitossanitário, volume de madeira, realização de técnicas de manejo florestal, entre outros.

O objetivo deste trabalho foi analisar as relações existentes entre IAF, estimado através do LAI-2000, e parâmetros dendrométricos, em plantios adultos e densos de *Pinus spp.*, para avaliar a possibilidade de estimativa destes a partir das estimativas de IAF obtidas através de técnicas de SR.

2. Material e Métodos

A área de estudo localiza-se na Fazenda Monte Alegre, de propriedade da DURAFLOA S.A., localizada no município de Agudos/SP, imediatamente a nordeste da mancha urbana desta cidade. Encontra-se delimitada pelos paralelos $22^{\circ}21'$ e $22^{\circ}28'$ de latitude sul e pelos meridianos $48^{\circ}48'$ e $48^{\circ}59'$ de longitude oeste, aproximadamente. A área total da fazenda é de 13.580,79 ha ($135,81 \text{ km}^2$) e sua altitude média é de 628 m. Esta fazenda é constituída, em sua maioria, por plantios das seguintes espécies: *Pinus caribea* var. *bahamensis* (PCB), *Pinus caribea* var. *caribea* (PCC), *Pinus caribea* var. *hondurensis* (PCH), *Pinus elliottii* var. *elliottii* (PEE) e *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* (POO). A localização da área de estudo e dos municípios vizinhos no contexto estadual podem ser visualizados na **Figura 1**.

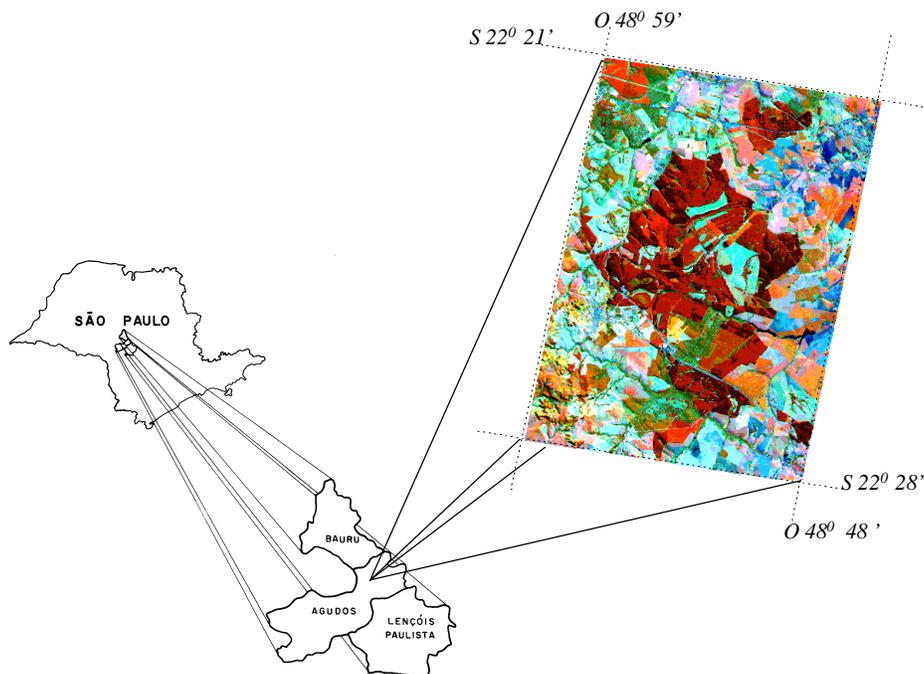


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos municípios vizinhos no estado de São Paulo.

Foi realizado um trabalho de campo em junho de 1996 para coleta de valores amostrais de três parâmetros biofísicos, IAF, DAF e GAP, utilizando o equipamento LAI-2000 “Plant Canopy Analyzer”, da LI-COR, seguindo com rigor as normas deste instrumento. É recomendada a coleta dos dados com céu nublado (radiação difusa) para que haja pouco espalhamento da REM pela folhagem, evitando uma possível subestimativa do IAF. Em dias de céu limpo, deve-se utilizar o equipamento no início do dia ou no final da tarde, quando o ângulo de elevação solar é baixo. Durante o trabalho de campo, as duas situações ocorreram e nos dias de céu limpo, as medidas foram realizadas até às 9 horas e a partir das 16 horas. Foi utilizado apenas um LAI-2000, coletando-se as medidas externas e internas com o mesmo instrumento, sendo que as áreas para coleta de medidas externas eram próximas dos talhões onde seriam obtidas as medidas internas, para que a iluminação não mudasse muito durante o trajeto entre um local e outro.

O procedimento em campo consistiu na realização de uma medida externa, em área aberta, seguida de 24 a 30 medidas internas nos talhões, organizadas em três transectos de 8 a 10 medidas cada um, em três locais diferentes e distantes dentro do talhão. As medidas internas foram tomadas ao longo dos transectos, a cada metro, aproximadamente, com o sensor sempre na mesma direção e utilizando uma máscara sobre a lente olho-de-peixe de 45°. Foi adotada a recomendação para plantios florestais comerciais, de tomada de medidas em quatro posições ao longo das linhas de plantio: uma dentro, outra ¼ fora, uma totalmente fora e a última ¾ fora da linha de plantio, para evitar que as mesmas plantas dominassem a resposta. Finalmente, realizou-se outra medida externa, na mesma área aberta (**Figura 2**).

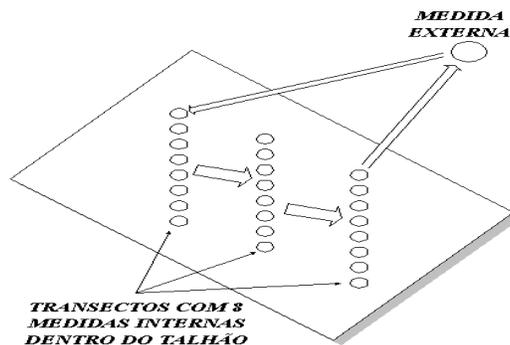


Figura 2 - Esquema ilustrativo dos transectos dentro do talhão.

Para o cálculo do IAF, o próprio LAI-2000 realizou uma interpolação entre as duas medidas externas de referência, que apresentaram diferenças devido às mudanças nas condições de iluminação. Foram amostrados 37 talhões e em todos foi adotado este mesmo procedimento, lembrando que o LAI-2000 adquire os valores de IAF, DAF e GAP para uma mesma área simultaneamente, através de uma única tomada de medidas.

Finalmente, estes parâmetros biofísicos e os dados dendrométricos foram inseridos, dois a dois, em modelos de regressão linear, para estabelecimento das equações, juntamente com os diagramas de dispersão e respectivos valores de R^2 e de R . Os dados dendrométricos de 57 talhões (altura, área basal, DAP e idade), oriundos de inventário florestal tradicional realizado em dezembro de 1996, foram fornecidos pela empresa. Os dados de volume foram estimados para a mesma época do trabalho de campo (junho de 1996), a partir dos volumes obtidos na época do último desbaste e dos dados de Incremento Médio Anual (IMA).

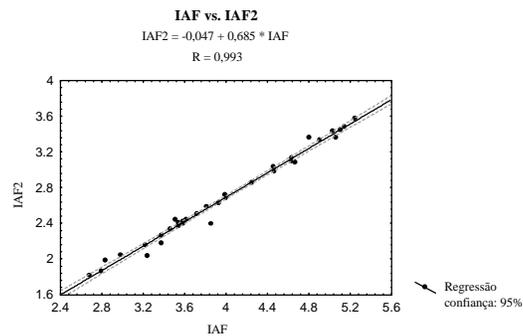
3. Resultados e Discussão

A **Tabela 1** contém os valores de IAF, DAF e GAP estimados em campo, utilizando o LAI-2000. É possível perceber que os valores de IAF obtidos para os 37 talhões foram baixos, situando-se entre 1,79 e 3,50. Curran et al. (1992) e Gong et al. (1992) encontraram valores de IAF igualmente baixos para *Pinus elliottii* (2,52 a 4,07) e *Pinus ponderosa* (0,87 a 2,72), respectivamente. Gower e Norman (1991) utilizaram o LAI-2000 para estimativas indiretas de IAF em plantios de coníferas e compararam estes valores com aqueles obtidos através de métodos diretos. Concluíram que o LAI-2000 subestima em 35 a 40% os valores de IAF relativos a coníferas, o que explica os baixos valores encontrados em campo, apesar da alta densidade de vegetação nos talhões estudados. Segundo os autores, o arranjo das acículas em grupos e eventuais sobreposições podem explicar a subestimativa do IAF.

Tabela 1 - Dados obtidos em campo através do LAI-2000.

TALHÃO	IAF	IAF * 1.5	DESVIO	IAF 2	DAF	DESVIO DAF	GAP	AMOSTRAS
8A	2.34	3.51	0.06	2.44	61 ⁰	3 ⁰	0.176	25
8D	2.62	3.93	0.04	2.63	52 ⁰	4 ⁰	0.134	25
30C	2.83	4.25	0.08	2.86	54 ⁰	3 ⁰	0.114	24
31	2.54	3.81	0.09	2.59	52 ⁰	5 ⁰	0.129	24
37	1.79	2.69	0.06	1.82	59 ⁰	2 ⁰	0.263	24
38	3.09	4.64	0.05	3.13	51 ⁰	4 ⁰	0.085	24
40B	3.43	5.15	0.05	3.48	44 ⁰	6 ⁰	0.052	24
41A	2.66	3.99	0.07	2.72	49 ⁰	6 ⁰	0.109	27
44B	3.2	4.80	0.07	3.36	59 ⁰	5 ⁰	0.094	24
46A	2.39	3.59	0.13	2.42	53 ⁰	4 ⁰	0.148	24
46B	1.99	2.99	0.06	2.05	58 ⁰	3 ⁰	0.222	24
46C	2.16	3.24	0.15	2.03	42 ⁰	2 ⁰	0.174	24
47A	1.75	2.63	0.06	1.75	50 ⁰	2 ⁰	0.242	24
48	3.37	5.06	0.08	3.36	48 ⁰	3 ⁰	0.067	24
49	2.67	4.01	0.07	2.69	51 ⁰	4 ⁰	0.118	27
50	2.84	4.26	0.12	2.85	47 ⁰	4 ⁰	0.094	26
51	1.89	2.84	0.06	1.99	63 ⁰	2 ⁰	0.256	24
52	3.11	4.67	0.07	3.08	47 ⁰	4 ⁰	0.079	24
56A	2.39	3.59	0.06	2.4	54 ⁰	2 ⁰	0.157	24
76	3.09	4.64	0.08	3.1	51 ⁰	2 ⁰	0.09	30
81	2.82	4.23	0.05	2.88	57 ⁰	3 ⁰	0.122	24
86	2.41	3.62	0.08	2.4	48 ⁰	3 ⁰	0.139	24
88	2.26	3.39	0.11	2.27	52 ⁰	4 ⁰	0.164	26
99A	2.36	3.54	0.05	2.41	57 ⁰	3 ⁰	0.17	24
99E	2.25	3.38	0.06	2.26	56 ⁰	2 ⁰	0.187	24
100	2.48	3.72	0.05	2.5	55 ⁰	3 ⁰	0.145	24
101	2.36	3.54	0.06	2.37	54 ⁰	3 ⁰	0.167	24
102	3.27	4.91	0.1	3.34	54 ⁰	3 ⁰	0.081	24
104A	3.5	5.25	0.08	3.58	56 ⁰	3 ⁰	0.074	24
112D	2.25	3.38	0.04	2.18	49 ⁰	2 ⁰	0.177	24
114A	3.35	5.03	0.05	3.43	58 ⁰	3 ⁰	0.085	25
116	2.98	4.47	0.05	2.99	54 ⁰	3 ⁰	0.104	24
117	2.97	4.46	0.06	3.04	60 ⁰	2 ⁰	0.122	25
2C	3.4	5.10	0.07	3.44	54 ⁰	3 ⁰	0.078	24
55	2.57	3.85	0.1	2.4	44 ⁰	4 ⁰	0.143	24
58A	2.31	3.47	0.1	2.33	53 ⁰	2 ⁰	0.165	24
62C	2.15	3.23	0.08	2.16	52 ⁰	2 ⁰	0.181	24
36A	1.86	2.79	0.09	1.87	60 ⁰	4 ⁰	0.274	32
43	2.26	3.39	0.07	2.27	55 ⁰	2 ⁰	0.176	24

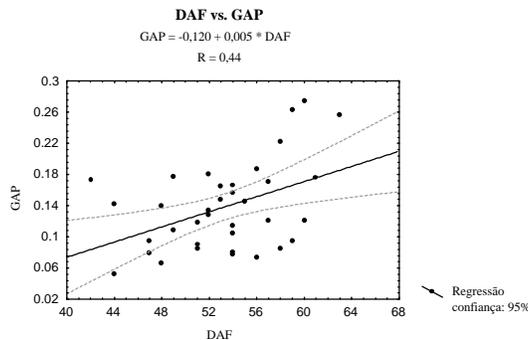
Dessa forma, Gower e Norman (1991) sugerem a multiplicação dos valores encontrados utilizando o LAI-2000 por um fator de correção, de modo a estimar os verdadeiros valores de IAF. Para coníferas, este fator equivale a 1,5 e a multiplicação dos dados obtidos em campo por esta constante deslocou o intervalo de IAF para 2,69 a 5,25, conforme também pode ser observado na **Tabela 1**. Ainda com relação aos dados de IAF, nota-se pela **Tabela 1**, que os desvios (fornecidos pelo LAI-2000) não foram muito altos (0,04 a 0,15), fato que indica uma possível homogeneidade dos talhões. O LAI-2000 fornece ainda outros valores de IAF, aqui denominados de IAF 2, calculados através de um método alternativo. O diagrama de dispersão entre o IAF e o IAF 2 mostra que ambos os métodos fornecem valores altamente correlacionados ($R=0,993$) (**Figura 3**), optando-se pela utilização de apenas um deles, o IAF, nos modelos de regressão linear.



$$R^2 = 0,98$$

Figura 3 - Diagrama de dispersão de IAF vs. IAF 2.

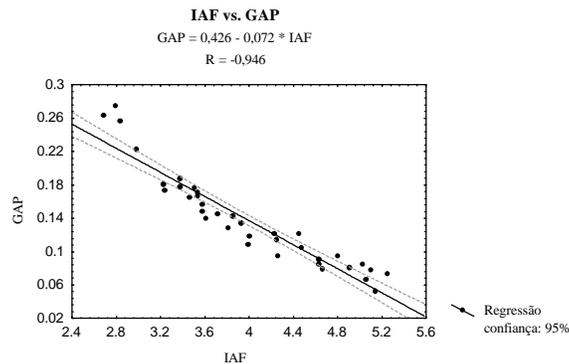
Voltando à **Tabela 1**, nota-se que os valores de DAF foram altos (entre 42^0 e 63^0), indicando que as acículas apresentavam-se bastante inclinadas, não caracterizando um dossel planófilo (Goel e Strebel, 1984). O IAF não possui qualquer relação com a DAF, uma vez que a quantidade de folhas não influencia na inclinação das mesmas e vice-versa. No entanto, a relação entre DAF e GAP faz sentido quando considera-se que uma maior inclinação das folhas pode contribuir para uma maior ocorrência de clareiras na copa. Folhas mais planas podem ser responsáveis por uma copa mais fechada (**Figura 4**).



$$R^2 = 0,19$$

Figura 4 - Diagrama de dispersão de DAF vs. GAP.

Os baixos valores de GAP (entre 0,052 e 0,274) indicaram que os talhões apresentavam uma copa bastante fechada, consequência da densidade dos mesmos. Os valores mais altos provavelmente correspondem àqueles talhões nos quais foram observadas pequenas clareiras, devido à aplicação de desbastes. Segundo Nilson (1971), o aumento dos valores de IAF está relacionado com um decréscimo dos valores de GAP, visto que uma maior quantidade de folhas contribui para um maior fechamento da copa, resultando em uma menor ocorrência de clareiras. Baret et al. (1995) também demonstraram a relação inversamente proporcional entre GAP e índices de vegetação, os quais estão inversamente relacionados com o IAF. Este fato pode ser constatado pelo gráfico da **Figura 5**:



$$R^2 = 0,89$$

Figura 5 - Diagrama de dispersão de IAF vs. GAP.

Conforme mencionado no Item 2, os dados dendrométricos caracterizam os plantios florestais quanto ao grau de desenvolvimento e suas interrelações são bastante conhecidas e descritas na literatura. Em termos gerais, sabe-se que a altura, a área basal, o volume e o DAP estão diretamente relacionados com a idade, ou seja, com o aumento da idade, estas grandezas também aumentam, sendo que a altura é influenciada pelo índice de sítio (Loetsch et al., 1973; Husch et al., 1982; Philip, 1983; Sorrentino, 1986). Estas relações puderam ser observadas neste trabalho, como mostra a **Figura 6**. Estes resultados apenas comprovaram as relações descritas pela literatura, servindo de referência para a análise das relações entre IAF e dados dendrométricos, para avaliar a viabilidade do uso de dados de IAF para a extração de dados dendrométricos.

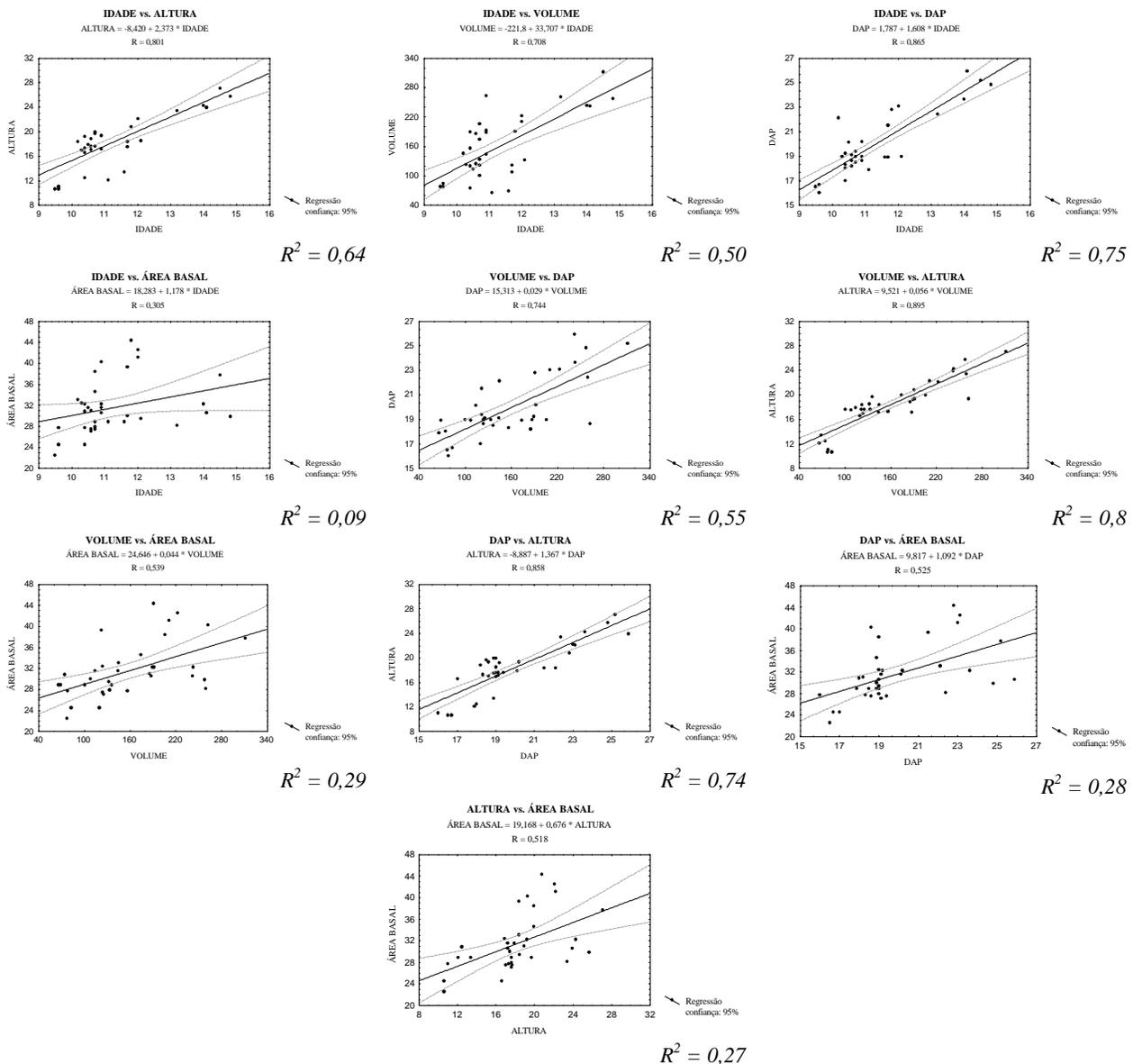


Figura 6 - Diagramas de dispersão dos dados dendrométricos entre si.

Com relação ao IAF, Marshall e Waring (1986), Campbell e Norman (1989) e Gower e Norman (1991) relatam a existência de uma forte correlação entre área foliar e área de câmbio vascular (“sapwood”) e/ou DAP, permitindo estimativas de área foliar a partir da entrada destes dados em equações alométricas. Uma vez que a área foliar está relacionada com o DAP e este com o volume de madeira, supõe-se que o volume de madeira também esteja relacionado com o IAF. Isto pode ser confirmado pelo trabalho de Kuplich et al. (1996), que apresenta uma forte correlação entre dados de biomassa foliar e volume de madeira em área de floresta heterogênea primária e secundária, ambos medidos em campo. Entretanto, para o caso de *Pinus spp.*, supõe-se que esta relação (IAF x volume de madeira) seja mais consistente nos primeiros anos do desenvolvimento dos plantios, por ainda estarem em fase crescimento, tanto dos troncos, quanto das folhas. Ao atingirem a fase adulta/madura, acredita-se que as variações na quantidade de

folhas (acículas) sejam pequenas, enquanto os troncos continuariam em processo de crescimento em diâmetro e volume, em resposta aos desbastes realizados, e em altura (ver **Figura 6**). Dessa forma, a relação entre IAF e volume se diluiria em plantios adultos, onde têm-se talhões com grande variação de volume de madeira e pequena variação nos valores de IAF. Os gráficos da **Figura 7** podem ser um indicativo da veracidade desta suposição, uma vez que refletem, respectivamente, a estabilidade dos valores de IAF na fase adulta com o aumento da idade e a pequena alteração dos valores de IAF em resposta à grande amplitude de valores de volume.

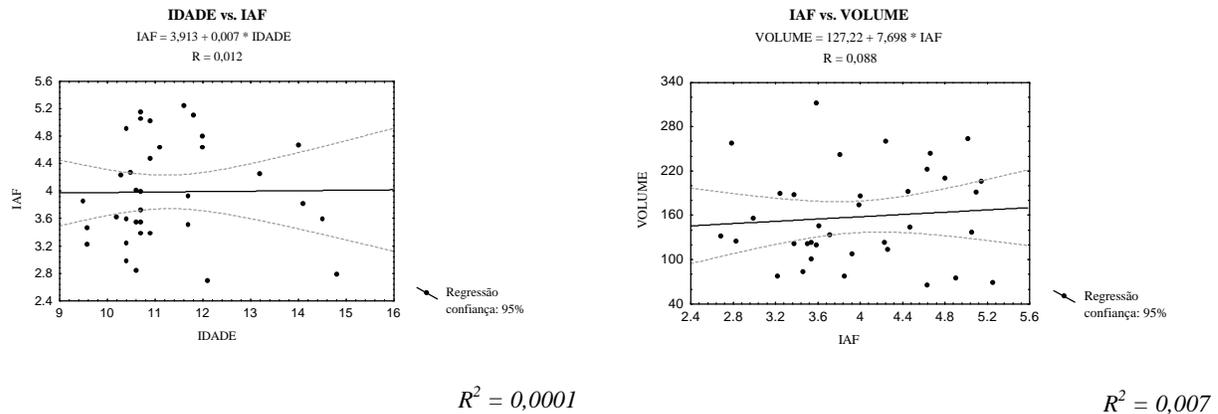


Figura 7 - Diagramas de dispersão de IAF vs. idade e volume.

Esta suposição pode ainda ser fundamentada no trabalho de Ponzoni e Shimabukuro (no prelo), que encontraram correlações altas ($R > 0,8$) ao relacionarem valores de IAF, também coletados com LAI-2000, com dados de volume, DAP e área basal, estimados em campo, para *Eucalyptus spp.* Apesar dos plantios também serem adultos, os plantios estudados possuíam menor densidade de folhas, comparado aos plantios de *Pinus spp.* considerados neste trabalho, apresentando valores de IAF mais baixos, o que permitiu o estabelecimento de uma relação com os dados dendrométricos. Este resultado permite concluir que a causa das baixas correlações aqui encontradas entre IAF e dados dendrométricos seriam devido à alta densidade de folhas e aos altos valores de IAF em plantios de *Pinus spp.* na fase adulta. O trabalho de Ponzoni e Shimabukuro (no prelo) demonstra ainda que a utilização de um método indireto (LAI-2000) para a estimativa do IAF, que sabidamente apresenta imprecisões e poderia ter influenciado nas correlações, parece não ser o responsável por tais resultados.

Finalmente, uma vez que o volume está diretamente relacionado com altura, área basal e DAP, é esperado que a relação entre IAF e estas variáveis também seja pequena, como de fato pode ser observado nos gráficos da **Figura 8**, com exceção da área basal, que mostrou uma correlação consideravelmente mais alta que as demais.

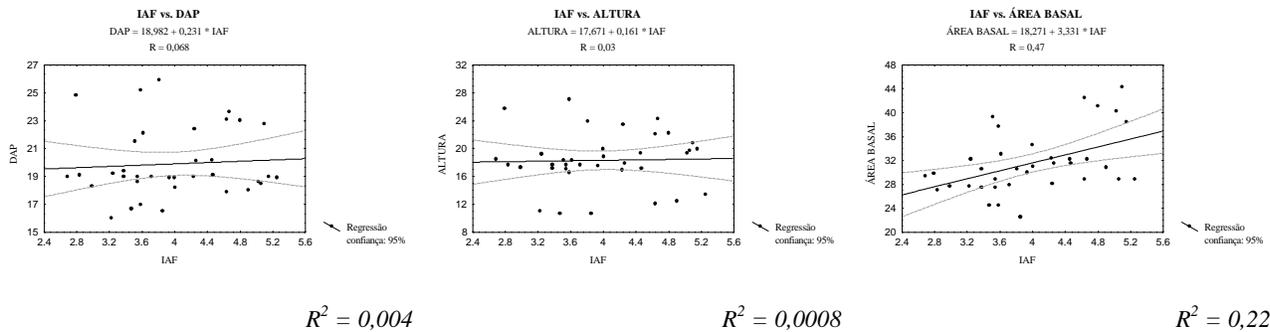


Figura 8 - Diagramas de dispersão de IAF vs. DAP, altura e área basal.

4. Conclusão

Os resultados mostraram que os dados dendrométricos (volume, altura, área basal, DAP e idade) inventariados pela empresa florestal estão diretamente correlacionados, confirmando a literatura a respeito. Os valores de IAF estimados através do LAI-2000 foram baixos (1,79 a 3,50), embora os plantios fossem adultos e densos. Outros estudos confirmam a ocorrência de IAF's mais baixos para coníferas e a subestimativa do LAI-2000 em 35 a 40% do valor real de IAF. Estes valores foram multiplicados por 1,5, elevando os valores para 2,69 a 5,25. As correlações entre os parâmetros biofísicos foram coerentes, sendo que o IAF mostrou-se inversamente correlacionado com GAP e este, diretamente correlacionado com DAF.

No entanto, a análise dos diagramas de dispersão e dos valores de R entre IAF e dados dendrométricos indicaram baixas correlações entre estas variáveis. Acredita-se que estes resultados sejam devido ao fato de plantios de *Pinus spp.*, quando adultos, não apresentarem grandes variações em seus valores de IAF, a despeito dos aumentos progressivos em altura, área basal, volume e DAP. Além disso, plantios de *Pinus spp.* são muito densos na fase adulta, atingindo valores de IAF elevados, o que possivelmente impediu sua diferenciação a partir deste parâmetro biofísico.

Portanto, conclui-se que para plantios adultos e densos de *Pinus spp.* não há correlação significativa entre IAF e dados dendrométricos, impossibilitando a estimativa destes últimos a partir de dados de IAF. Isto pode ser um indicativo de que em florestas heterogêneas, igualmente densas e com arquitetura e composição florística mais complexas, tais relações podem apresentar as mesmas limitações, podendo inviabilizar a estimativa de biomassa e outros parâmetros dendrométricos a partir de dados de IAF, obtidos através de dados orbitais do sensor TM/Landsat.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à DURAFLOSA S.A., pela atenção dispensada, por disponibilizar os dados dendrométricos necessários e pelo apoio logístico durante o trabalho de campo.

Referências Bibliográficas

- ASRAR, G.; MYNENI, R. B.; KANEMASU, E. T. Estimation of plant-canopy attributes from spectral reflectance measurements. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York, John Wiley, 1989. Cap. 7, p.252-296.
- BARET, F.; CLEVERS, J. G. P.; STEVEN, M. D. The robustness of canopy gap fraction estimates from red and near infrared reflectances: a comparison of approaches. **Remote Sensing of Environment**, 54(2):141-151, 1995.
- CAMPBELL, G.S.; NORMAN, J.M. The description and measurement of plant canopy structure. In: Russell, G.; Marshall, B.; Jarvis, P.G. **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- CURRAN, P.J.; DUNGAN, J.L.; GHOLZ, H.L. Seasonal LAI in Slash Pine estimated with Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, 39(1):3-13, 1992.
- DAUGHTRY, C.S.T. Direct measurements of canopy structure. In: Goel, N.S., Norman, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews**, 5(1):45-60, 1990.
- GOEL, N.S. Inversion of canopy reflectance models for estimation of biophysical parameters from reflectance data. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York, John Wiley, 1989. Cap. 6., p.205-251.
- GOEL, N.S., NORMAN, J.M. Remote sensing and biophysical measurements of soils and vegetation. In: Goel, N.S., Norman, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews**, 5(1):1-12, 1990.
- GOEL, N.S., STREBEL, D.E. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies. **Agronomy Journal**, 76:800-803, 1984.
- GONG, P.; PU, R.; MILLER, J.R. Correlating Leaf Area Index of Ponderosa Pine with hyperspectral CASI data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 18(4):275-282, 1992.
- GOWER, S.T.; NORMAN, J.M. Rapid estimation of Leaf Area Index in conifer and broad-leaf plantations. **Ecology**, 72(5):1896-1900, 1991.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. 3 ed. New York, John Wiley & Sons, 1982.
- KUPLICH, T.M.; YANASSE, C.C.F.; FRERY, A.C.; SANT'ANNA, S.J.S.; DUTRA, L.V.; HERNANDEZ FILHO, P. **Secondary and primary tropical forest biomass estimates in Tapajós area: 1994 field work report**. São José dos Campos, INPE, 1996. No prelo.
- LI-COR. **LAI-2000 Plant Canopy Analyzer: operating manual**. Lincoln, LI-COR, 1992.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory**. Vol. 2. München, BLV Verlagsgesellschaft, 1973.
- MARSHALL, J.D.; WARING, R.H. Comparison of methods of estimating Leaf Area Index in old growth Douglas-fir. **Ecology**, 67(4):975-979, 1986.

- NILSON, T. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands. **Agricultural Meteorology**, 8:25-38, 1971.
- PHILIP, M. S. **Measuring Trees and Forests**. Grã-Bretanha, University of Dar es Salaam, 1983.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Relação entre NDVI e SAVI com parâmetros biofísicos de plantios de *Eucalyptus sp.* em Cachoeira do Manteiga (MG)**. 1998. Submetido à Revista *Árvore*, SIF/UFV, Minas Gerais (no prelo).
- SORRENTINO, A. **Manual Teorico-Practico: Técnicas e instrumentos de medición forestal**. Vol. 2. Montevideo, Universidad de la Republica / Depto. Forestal, 1986.
- WELLES, J.M. Some indirect methods of estimating canopy structure. In: Goel, N.S., Norman, J.M. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews**, 5(1):31-43, 1990.