

**MAPEAMENTO DA FITOMASSA DA CAATINGA DO NÚCLEO DE DESERTIFICAÇÃO DO SERIDÓ,
PELO ÍNDICE DE ÁREA DE PLANTA (IAP) E O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA
NORMALIZADA (NDVI), OBTIDO COM DADOS DO SENSOR LANDSAT 7 TM.**

Thomaz Corrêa E Castro Da Costa¹
Luciano José De Oliveira Accioly²
Maria Aparecida José De Oliveira¹
Nivaldo Burgos²
Flávio Hugo Barreto Batista Da Silva²

¹CNPq-DCR/EMBRAPA-CNPS-UEP, Rua Antônio Falcão, 402, 51020-240 Recife-PE, Brasil
correacastro@embrapacnpsuep.com.br

²EMBRAPA-CNPS-UEP

Abstract The phytomass of an area under desertification process, as well as the elaboration of a phytomass inventory, the plant area index (PAI) and the normalised difference vegetation index (NDVI), were obtained by an empirical method using Landsat images. In the first stage, linear, logarithmic and non-linear models were developed and tested. Bush and tree specimens were considered in the study, so that most of the individuals that contribute to the spectral answer detected by satellite images were included. In a second stage, orbital parameters (NDVI) were used to map the PAI, which, by its turn, was used to map the phytomass, based on the relationship of this phytomass in function of PAI. The residues between measurements and estimates based on NDVI varied from 1 to 45%, while the residues of total dry weight of phytomass per ha obtained by mapping and by dendrometrical equations varied from 4 to 78%, with a large tendency of 257% in area of open Caatinga, due to the contribution of the herbaceous stratum in NDVI.

Key words : leaf area index, aboveground biomass, desertification nucleus, forest inventory.

Introdução

A aplicabilidade deste estudo tem sua importância na dinâmica do uso da terra no bioma caatinga, principalmente com relação ao processo de desertificação e a utilização não sustentável do recurso madeireiro, que vêm provocando perda da diversidade florística, e degradação do solo.

A fitomassa, principalmente arbórea, é informação indispensável em atividades econômicas e ambientais, como políticas de uso do recurso madeireiro, manejo florestal, estudos de ciclagem de nutrientes, seqüestro de carbono, entre outros (Brown et al., 1989; Souza & Jesus, 1991; Bohrer & Campos, 1993; Silva et al., 1993; Scolforo et al., 1993; Foody et al., 1996). Como sua obtenção, de forma destrutiva, constitui-se na etapa mais laboriosa de um inventário florestal, considerando-se ainda o dano ambiental, torna-se necessária a pesquisa de métodos não destrutivos para sua mensuração.

Um método que vem sendo estudado (Pereira, 1985; Santos, 1988; Kazmierczak, 1992; Amaral et al., 1996; Jakubauskas & Price, 1997; Sousa & Ponzoni, 1998; Santos et al., 1998;

Xavier et al., 1998; Qi et al., 2000), baseia-se em relacionamentos empíricos entre a biomassa e a radiância, medida por sensores orbitais, podendo-se utilizar como variável intermediária o índice de área foliar (IAF).

Uma melhor terminologia para o IAF, mensurado no campo, é dada por White et al. (2000), denominando-o de índice de área de planta (IAP), incluindo-se troncos e galhos que, em regiões semi-áridas, é provável que represente uma maior contribuição no IAF, comparado a outros biomas. Deste modo, o IAF pode ser extraído subtraindo-se do IAP o IAG (índice de área de galhos e tronco), medido na época seca, quando ocorre a queda total das folhas.

Dentre os estudos mencionados, Santos et al. (1998), obtiveram um relacionamento entre o retroespalhamento (dB) de uma imagem JERS-1 e valores de biomassa de áreas de floresta primária e sucessão secundária da Amazônia, com um $R^2=0,429$. Esta função foi melhorada combinando-se as bandas 3, 4 e 5 do sensor Landsat TM, obtendo-se um $R^2=0,774$ ($r=0,88$). Somente com o uso de imagens Landsat TM, Amaral et al. (1996) obtiveram relações lineares para a sucessão secundária de áreas abandonadas na Amazônia, entre o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e IAF, e NDVI e área basal (cm^2/ha), com $R^2 = 0,77$, considerando estes resultados além das expectativas, quando comparados aos resultados obtidos por Box et al. (1989), com um $R^2=0,0547$ entre IAF e NDVI, e um $R^2=0,118$ entre NDVI e biomassa. Em florestas de Pinus, Jakubauskas & Price (1997) obtiveram $R^2 = 0,62$ com o IAF em função do NDVI e do componente verdor da transformação *Tasseled Cap*, e de 0,59 para biomassa em função do NDVI, enquanto Kazmierckak (1992), para Pinus e *Araucária angustifolia*, verificou que a melhor variável para relacionamento foi a área basal, com a banda 5 do Landsat TM, para ambos os povoamentos, mas com um pobre ajuste: $R^2=0,3594$ para *Araucária angustifolia*, e $R^2=0,6593$ para Pinus.

Os melhores resultados de relacionamento entre NDVI e IAF foram obtidos por Qi et al. (2000), que ajustaram um modelo polinomial aos dados de IAF, coletados numa região semi-árida do Arizona, obtendo inflexão com $\text{IAF} > 1,2$, quando o modelo assume a forma exponencial, e com resultados constantes de $\text{NDVI} \cong 0,6$ a partir de $\text{IAF} > 2,0$. O coeficiente de determinação alcançado foi de 0,94.

O objetivo deste trabalho foi a execução e verificação de uma metodologia para o mapeamento da fitomassa arbustiva-arbórea da caatinga numa área piloto do núcleo de desertificação do Seridó, tendo como meta o diagnóstico da distribuição do estoque de biomassa da caatinga, como subsídio ao zoneamento da desertificação e programas de manejo florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área piloto para coleta de informações abrange um retângulo de 30 x 25 km^2 (75000 ha), a uma altitude média de 270 m, com amplitude de 200 a 700 m, inserido no Núcleo de Desertificação do Seridó (Rio Grande do Norte/Paraíba, Brasil), conforme Figura 1.



FIGURA 1-Área de Estudo no Núcleo de Desertificação do Seridó

Modelagem da Biomassa

A modelagem da biomassa foi dividida em três etapas (Figura 2), tendo como resultado final o mapeamento da biomassa, com o auxílio de um sistema de informações geográficas.

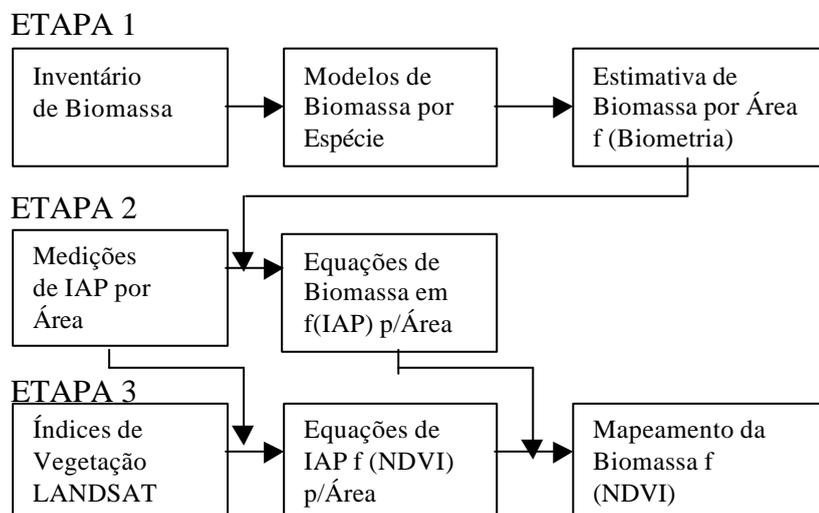


FIGURA 2 – Fluxograma das operações para mapeamento de biomassa

Etapa 1

Para a execução do Inventário de Biomassa, a seleção de áreas para coleta de dados foi estabelecida em três níveis de densidades da vegetação (Ibama, 1992), para a região do Seridó. Estes três níveis foram selecionados no campo, para marcação dos transectos, execução do inventário fitossociológico e coleta de fitomassa. Foram amostradas mais quatro áreas,

selecionadas a partir de um processo de similaridade espectral (módulo de segmentação do SPRING/INPE), das bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM, totalizando sete áreas.

O tipo de amostragem empregado foi o do ponto quadrante (Brower et al., 1998), usando-se transectos de 500 m, georeferenciados, com erro de precisão estimado (EPE) entre 3 e 5 m. A distância entre pontos foi de 10 m, e a distância entre transectos, de 20 m, totalizando 2017 árvores medidas e 246 árvores abatidas, representativas das espécies mais abundantes na Região do Seridó.

Para a construção dos Modelos de Biomassa por Árvore, por Espécie, optou-se por modelar a árvore considerando-se todas as bifurcações, resultando na variável "soma da circunferência da base" (SCBA), tendo como critério de inclusão de árvores o diâmetro na base (DBA), maior ou igual a 1 cm. Optou-se ainda por modelos não estratificados por área, devido aos padrões intermediários encontrados em campo.

Os parâmetros peso seco de tronco e galhos (PSG), peso seco de folhas (PSF) e volume (VOL) (variáveis dependentes) foram estimados por árvore, a partir das variáveis PSG, SCBA, altura total (HT) e produto do maior e menor diâmetro da copa (DC2) (variáveis independentes). Para PSF, foi considerada também a variável DATA (*Dummy*), para *intercept*, pois os dados foram coletados em datas diferentes na estação chuvosa, uma na fase em que as plantas estavam com 100% de folhas (março) e outra no final da estação (junho), já com o início da caducifolia, possibilitando dados médios para maio de 2000.

Foram testados modelos lineares e logarítmicos pelo procedimento *Stepwise*, e não lineares, para seleção das equações, comparando-as a dois levantamentos, realizados por Silva (1998) e Ibama (1992). As estatísticas para escolha do melhor modelo linear foram o coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente de variação (CV), e a análise de resíduos.

As principais diferenças entre estes levantamentos e o desenvolvido neste estudo são apresentadas no **Quadro 1**.

QUADRO 1 – Comparação entre o levantamento desenvolvido neste estudo e dois levantamentos para estimativa de biomassa na área da Caatinga

Fonte	^{1/} DBA mínimo	Um Registro (indivíduo)	Estratificação (equação Local)	Modelo	Finalidade	LOCAL
Este estudo	≥ 1 cm	árvore	Não	Método Stepwise; Silva et al. (1993); Modelo Modificado de Schumacher & Hall	Mapeamento da Biomassa e Inventário Fitossociológico	Jardim do Seridó-RN; Parelhas-RN
Silva (1998)	≥ 3 cm	bifurcação	Não	Potencial	Modelagem da Biomassa aérea	Santa Luz-BA; Petrolina-PE
Ibama (1992)	≥ 2 cm	bifurcação	Sim	Linear	Plano de Manejo Florestal (RN)	Núcleo do Seridó-RN/PB

^{1/}DBA=diâmetro na base

As Estimativas de Biomassa por Área em função dos Dados Dendrométricos (PSG, PSF e VOL) foram geradas a partir das equações selecionadas dos métodos e levantamentos descritos

no **Quadro 1**, para todas as áreas, fornecendo os dados básicos para a segunda etapa, conforme esquema na **Figura 2**.

Etapas 2 e 3

Para as Medições de IAP por Área foram empregados dois aparelhos, com o intuito de melhorar a precisão: (1) o LAI-2000 (Li-Cor, 1992), que calcula a área foliar a partir da razão da energia difusa, B (Leitura abaixo do dossel)/A (Leitura acima do dossel) = T (transmitância). As leituras foram feitas com *view cap* de 45⁰, nos horários de sol nascente e poente e sob céu nublado, obedecendo-se a seguinte seqüência: uma leitura A, e 10 leituras B, sendo cada leitura B, medida sobre os pontos do transecto, distantes de 10 m; e (2) AccuPAR, usado para medir a energia fotossinteticamente ativa, PAR- “Photossintetic Active Radiation” (400-700 nm), e para o cálculo do IAF, utilizando o PAR. Seu princípio difere do LAI-2000, no sentido de usar a energia direta, e não difusa, o que permite maior flexibilidade para medições com relação a hora do dia e nebulosidade. O procedimento para medições no transecto foi o mesmo que para o LAI-2000, de forma que os valores do IAF utilizados neste trabalho correspondem as médias entre os dois aparelhos.

Para as Estimativas de Biomassa em função do IAP/NDVI (Mapeamento da Biomassa), foi gerada uma imagem de NDVI, com as bandas 3 e 4 do LANDSAT 7 TM, passagem de maio/00 (época chuvosa). O índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é calculado por: $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$, sendo TM4 e TM3, valores de radiância para a banda 4 (infravermelho próximo) e banda 3 (vermelho). O IAP assume a função de estimador da biomassa (variável independente) que, sendo estimado pelo NDVI (variável dependente), permite espacializar a biomassa em função do NDVI, conforme funções : (IAP) f (NDVI); e (PST, PSF, VOL) f (IAP).

Resultados e Discussão

As correlações por área entre variáveis estruturais da vegetação, de biomassa, IAP e NDVI são apresentadas no **Quadro 2**. A única variável correlacionada com o NDVI foi o IAP, enquanto que este só não obteve correlação significativa com densidade total de árvores por metro quadrado (DT/m²), o que justifica o uso da variável intermediária IAP, na estimativa de biomassa por parâmetros orbitais. Confirma-se, também, sua relação com variáveis estruturais da vegetação, indicando que a magnitude do IAP é devida não apenas a quantidade de biomassa, mas também a outros parâmetros estruturais, como a densidade e altura dos indivíduos.

QUADRO 2 - Correlações de Pearson entre as Variáveis de Biomassa, de Estrutura da Vegetação, IAP e NDVI para as Áreas (n=7) (^{n.s.} não significativos ao nível de 95% de probabilidade)

	DT/m ²	PSG (kg/ha)	PSF (kg/ha)	VOL (m ³ /ha)	¹ /PST (kg/ha)	² /AB (m ² /ha)	HT (m)	DC2 (m ² /ha)	NDVI
IAP	0,63 ^{n.s.}	0,96	0,93	0,96	0,96	0,89	0,89	0,94	0,82
NDVI	0,65 ^{n.s.}	0,73 ^{n.s.}	0,57 ^{n.s.}	0,73 ^{n.s.}	0,72 ^{n.s.}	0,57 ^{n.s.}	0,68 ^{n.s.}	0,72 ^{n.s.}	1,00

¹/peso seco total: PST = PSG + PSF; ²/AB=área basal; DC2=produto do maior e menor diâmetro copa

Os melhores resultados de R^2 foram obtidos pelo Método *Stepwise*, devido ao produto do maior e menor diâmetro de copa (DC2), variável de melhor controle da arquitetura da árvore. Os dados de PSG, PSF e VOL foram estimados para as sete áreas.

Equações de Biomassa em Função do IAP/NDVI

Assumindo-se o IAP para estimar parâmetros da vegetação, a equação resultante para PST (PSG + PSF) foi: $PST = -4662,1 + 19055 * IAP$, com $R^2 = 92,27$, com a distribuição dos dados expressa na **Figura 3**. Um fator desfavorável nesta equação é a sua sensibilidade as variações do IAP, que por sua vez é estimado em função do NDVI, o que indica que resultados consistentes exigem bons ajustes no relacionamento de IAP e NDVI.

O relacionamento entre o IAP, variável a estimar em função do NDVI, obtido pelas bandas 3 e 4 do Sensor Landsat 7 ETM+, resultou na equação: $IAP = 0,4447 * e^{1,9363 * NDVI}$, com $R^2 = 76,37$, e sua representação na **Figura 4**.

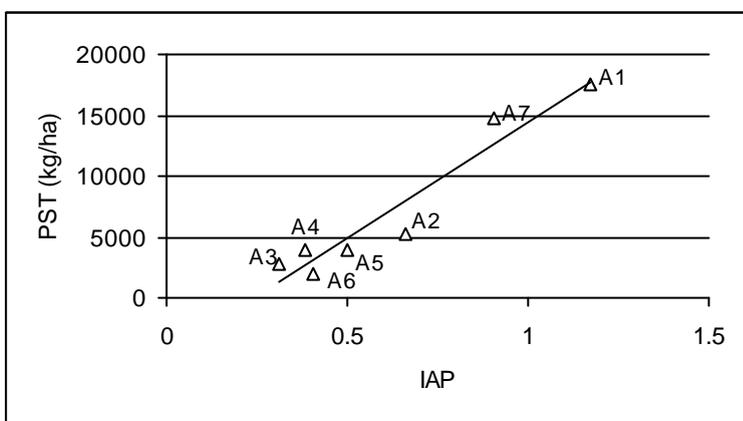


FIGURA 3- Peso Seco Total (PST) em função do Índice de Área de Planta (IAP) para as áreas amostradas

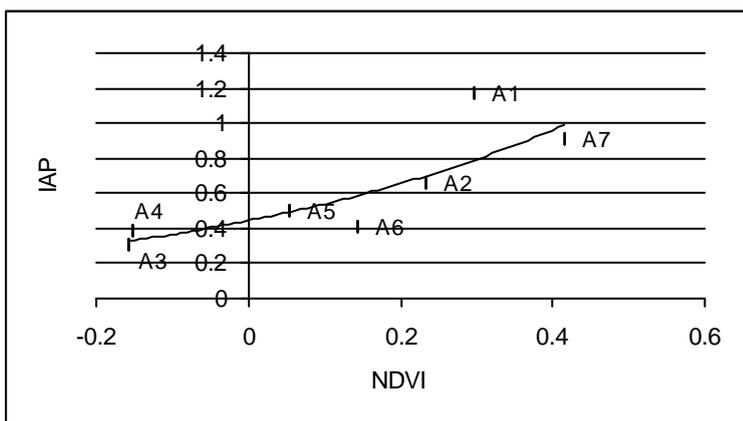


FIGURA 4- Índice de Área de Planta (IAP) em função do NDVI para as áreas amostradas

A avaliação do erro do mapeamento, comparando-se a biomassa estimada em função do IAP/NDVI com a biomassa obtida a partir de variáveis dendrométricas, é apresentada no **Quadro 3**. O resíduo percentual variou de 1 (área 5) a 45% (área 6) para o IAP, e de 4% (área 7)

a 257% (área 6) para PST. Para PSF, os erros foram maiores, variando de 42% (área 1) a 251% (área 6). O VOL obteve melhores resultados, variando de 8% (área 7) a 199% (área 6). O alto desvio ocorrido para a área 6 foi confirmado para todas as variáveis, pois esta área apresentou uma baixa densidade de árvores, mas com alta cobertura herbácea representada pela malva e pelo capim panasco, o que influenciou o NDVI. Como a informação final é generalizada na forma temática, onde agrupa-se os dados em classes, a exatidão nos resultados é aumentada.

Quadro 3- Resíduos percentuais para PST (kg/ha), PSF (kg/ha), VOL (m³/ha) e IAP, estimados com as equações de Biomassa a partir do IAP/NDVI

Area	PST (kg/ha)	*Pst (kg/ha)	Res.% PST	PSF (kg/ha)	*Psf (kg/ha)	Res.% PSF	VOL (m ³ /ha)	*Vol (m ³ /ha)	Res.% VOL	IAP	*Iap	Res.% IAP
1	17536	11507	-34	1965	1122	-42	17,56	10,64	-39	1,17	0,80	-31
2	5223	9330	78	598	941	57	5,53	9,08	64	0,66	0,70	6
3	2834	1546	-45	325	114	-64	3,09	1,96	-36	0,31	0,32	6
4	3863	1584	-58	322	118	-63	4,32	2,00	-53	0,38	0,33	-14
5	3927	4948	26	266	475	78	4,58	5,07	10	0,49	0,49	-1
6	1942	6948	257	177	623	251	2,12	6,35	199	0,40	0,58	45
7	14786	15495	4	702	1596	127	16,09	14,72	-8	0,90	0,99	10

* estimativas

Aplicabilidade do Mapeamento de Fitomassa

São apontadas, a seguir, algumas aplicações do mapeamento da fitomassa gerado pelo conjunto de equações apresentadas anteriormente. Os mapas de IAP, produto intermediário, e de PST, produto final, categorizados, são apresentados nas **Figuras 5 e 6**.

Da **Figura 6**, extrai-se a seguinte distribuição: 28% da área de estudo são classes de não caatinga, incluindo-se pastagens, agricultura, açudes e zonas urbanas; 33% encontram-se na faixa de 0,1 a 5 Mg/ha de Peso Seco Total de Fitomassa (caatinga aberta e semi-densa), com grande concentração na porção noroeste da área; 25% representam a faixa de 5 a 10 Mg/ha (caatinga semi-densa); 11% encontram-se na faixa de 10 a 20 Mg/ha; e 3% com PST maior ou igual a 30 Mg/ha (caatinga densa), ocupando principalmente a serra das Queimadas, ao sudeste da área. Próxima a esta região, encontra-se a área 7, com a maior diversidade de espécies, e o maior porte das árvores. Assim, deduz-se que as melhores áreas estão predominantemente no alto da serra, e foram preservadas pelo impedimento físico, podendo estar associadas, também, ao microclima local. Estas áreas, com maior estoque lenhoso, tem baixa representatividade na área de estudo.

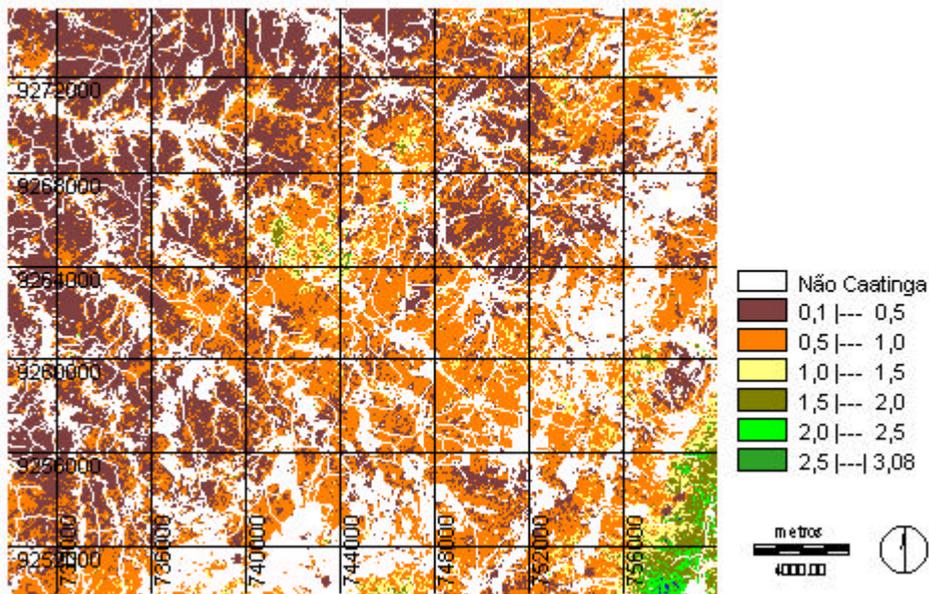


FIGURA 5 – Índice de Área de Planta (IAP= m² planta/m² de solo), para a área de estudo no Núcleo do Seridó

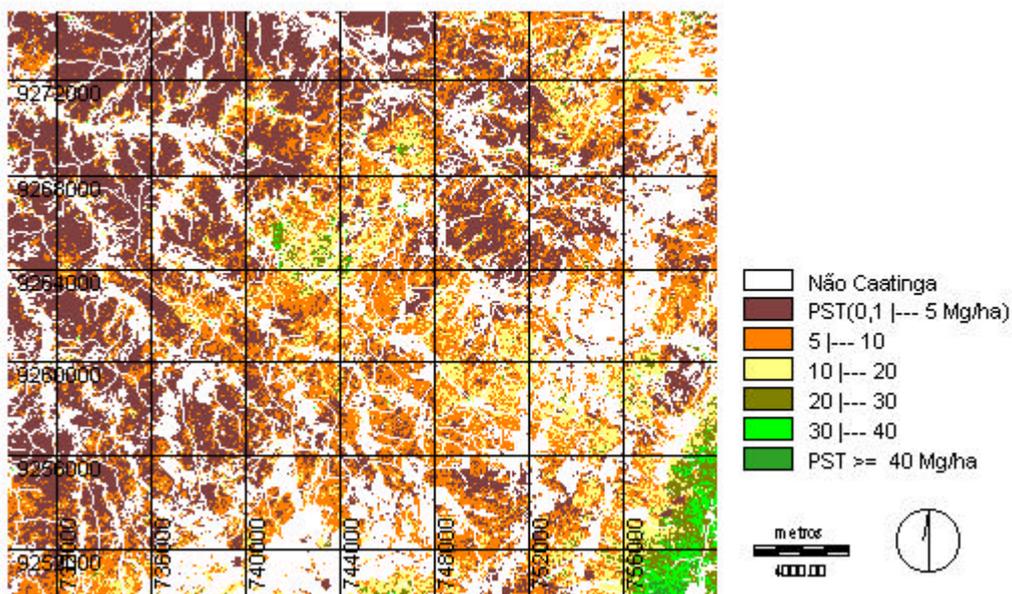


FIGURA 6- Peso Seco Total (PST=PSG+PSF) em Mg/ha para a área de estudo no Núcleo do Seridó

O desmembramento de PST em PSG e PSF pode ser também obtido por funções lineares, assim como o VOL, variável de interesse energético e madeireiro, conforme equações a seguir (mapas não apresentados):

$$PSF = 0,1162 * PST - 74,747 \quad (R^2=98,87) \quad (\text{obs. Excluindo-se a área 7})$$

$$PSG = PST - PSF$$

$$VOL = 0,001 * PST + 0,3427 \quad (R^2=99,58)$$

Considerando a perda de folhas, pois a caatinga sob clima semi-árido é uma tipologia vegetal com plena caducifolia na época seca, a quantidade de folhas, medida em PSF, que cai no solo anualmente nesta área de estudo é de aproximadamente 40.890 Mg, com contribuição de 60% deste total nas áreas distribuídas nas classes de 0,5 a 2,0 Mg/ha. Em um enfoque global, a quantificação de folhas renovadas anualmente na Caatinga do semi-árido pode auxiliar em estudos de fixação de carbono da atmosfera, pois o sequestro de CO₂ pode ser medido a partir da quantificação do carbono nas folhas.

Com relação ao uso sustentável do recurso florestal, a indicação de áreas apropriadas para o manejo florestal e a quantidade de madeira disponível são informações necessárias para sua política de uso. A quantidade de madeira disponível atualmente nesta área é de aproximadamente 405.127 m³, sendo 47% desta volumetria em áreas com estoque acima de 10 m³/ha, que estariam em condições para uso sustentável, devendo-se ainda descontar a madeira não aproveitável, áreas de interesse ambiental e em situação topográfica não recomendável para exploração florestal. Ao relacionar a taxa de incremento médio, extraída de Ibama (1992), de 530,45 kg/ha.ano na região do Seridó, ou 0,635185 m³/ha.ano, utilizando-se um fator de conversão médio, VOL/PSG, tem-se aproximadamente um volume bruto disponível de 7.308 m³/ano, com base na área com estoque acima de 10 m³/ha (11.505 ha).

Ensaio futuros, além de melhorar e avaliar o próprio modelo, tem como finalidade subsidiar estudos relacionados a dinâmica sócio ambiental da região, de forma a conter o processo de desertificação.

Conclusões

Obteve-se, neste estudo, estimativas espaciais da fitomassa arbóreo-arbustiva da caatinga. O maior nível de imprecisão foi devido a influência da cobertura não mensurada, da porção herbácea, exigindo-se um ensaio para avaliação no período seco, desconsiderando-se a parte foliar e herbácea. Recomenda-se também novos *sites*, selecionados a partir de novas áreas homogêneas extraídas de imagens LANDSAT TM.

O uso de equações pré-estabelecidas por levantamentos anteriores introduz fortes tendências nas estimativas de biomassa, para o nível de abordagem empregado neste estudo. A solução para reduzir a imprecisão das equações exige uma amostra maior de árvores, proporcional as classes de tamanho da espécie, e com melhor distribuição, de forma a garantir estimativas para toda a região do Seridó. Uma alternativa de baixo custo seria aproveitar a massa de dados coletada pelos levantamentos citados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelos equipamentos e recursos humanos viabilizados por financiamento de projeto, a Pesquisadora Maria do Carmo, do IPA-Empresa de Pesquisa Agropecuária de Pernambuco, pelo apoio de laboratório, e aos estagiários Ana Luiza, Eudmar e Ricardo, pelo auxílio na coleta e digitação dos dados.

Referências

AMARAL, S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S.; MELLO, E. M. K.; ALMEIDA, S. A. S.; SILVA, O. F.; SILVEIRA, A. M. Relações entre índice de área foliar (IAF), área basal e

- índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazônica em Rondônia. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Salvador, 1996 (CD-ROM).
- BOHRER, C. B. A.; CAMPOS, A. N. S. Estimativa da biomassa florestal na Amazônia legal a partir de dados provenientes de inventário florestal In: 1^o CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO E 7^o CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2., Curitiba, 1993. p. 511-512.
- BROWER, J. E.; ZAR, J. H.; VON ENDE, C. N. **Field and laboratory methods for general ecology**. New York: McGraw-Hill, 1998. 273p.
- BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v.35, n.4, p.881-902, 1989.
- DECAGON. AccuPAR. Light Interception Device: Operator's manual. Pullman, Washington. 149p.
- FOODY, G.M.; PALUBINSKAS, G.; LUCAS, R.M. ; CURRAN, P. J.; HONZAK, M. Identifying terrestrial carbon sinks: classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v.55, p.205-216, 1996.
- IBAMA. Plano de manejo florestal para a região do Seridó do Rio Grande do Norte. Natal: IBAMA. v.1 (Projeto PNUD/FAO/IBAMA), 1992.
- JAKUBAUSKAS, M. E.; PRICE, K. P. Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forest. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.63, n.12, p.1375-1381, 1997.
- KAZMIERCZAK, M. L. Estimativa de variáveis dendrométricas em florestas homogêneas a partir de dados LANDSAT TM. São José dos Campos, 1992. 186p. Tese (M.S.) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.
- LI-COR. LAI-2000 Plant Canopy Analyzer: operating manual. Lincoln, LI-COR, 1992.
- PEREIRA, M.D.B. Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-Landsat e por radiometria de campo. São José dos Campos, 1985. Tese (M.S.) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.
- QI, J.; KERR Y. H.; MORAN, M.S.; WELTZ, M.; HUETE, A. R.; SOROOSHIAN; S., BRYANT, R. Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF model in a semiarid region. **Remote Sensing of Environment**, v.73, p.18-30, 2000.
- SANTOS, J. R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite LANDSAT. Curitiba, 1988. 156p. Tese (D.S.) - Universidade Federal do Paraná.
- SANTOS, J.R.; LACRUZ, M.S.P.; KEIL, M.; KUX, H.J.H.; XAUD, M.R. Análise da imagem JERS-1 para estimativa da biomassa aérea de florestas tropicais no sudoeste da Amazônia. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SANTOS, 1998 (CD-ROM).
- SCOLFORO, J. R.; LIMA, J. T.; SILVA, S. T. Equações de biomassa e volume para cerrado sensu stricto. In: 1^o CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO E 7^o CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2, Curitiba, 1993. p.508-510.

- SILVA, G. C. Relações Alométricas de dez espécies vegetais e estimativas de biomassas aéreas da Caatinga. Recife, 1998. Tese (D.S.) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- SILVA, J. A. A.; MELO, M. R. C. S.; BORDERS, B. E. A volume equation for mangrove trees in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.58, p.129-136, 1993.
- SOUSA, C. L.; PONZONI, F. J. Relação entre índice de área foliar, estimado através de sensoriamento remoto, e parâmetros dendrométricos em floresta implantada de Pinus spp. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Santos, 1998 (CD-ROM).
- SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Revista Árvore**, v.15, n.3, p.257-273, 1991.
- WHITE, M.A.; ASNER, G.P.; NEMANI, R.R.; PRIVETTE, J.L.; RUNNING, S.W. Measuring fractional cover and leaf index in arid ecosystems: digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.45-57, 2000.
- XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C.; FREITAS, C. C. Estimativa de IAF de plantações de eucaliptos a partir de dados TM/LANDSAT. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Santos, 1998 (CD-ROM).