

Melhorias no mapeamento do uso da terra da região Nordeste do Brasil para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos.

Rita Marcia da Silva Pinto Vieira¹,
Vitor Celso Carvalho²,
Regina Célia dos Santos Alvalá¹,
Eliana Maria Kalil Mello²,
Sebastião Ferraz Neto¹

¹CPTEC-INPE. Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP
(rmarcia, regina, ferraz)@cptec.inpe.br

²DSR-INPE. Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP
(vitor, kalil)@dsr.inpe.br

Abstrat: The aim of this study is to present the methodology that was used to generate an updated vegetation cover and land use/cover maps of the States in the Northeast of Brazil for meteorological modeling application and to estimate the soil moisture availability in the region. The Radambrasil, the IBGE vegetation maps, a digital mosaic of ETM+ Landsat 7, and TM Landsat 5 images have been visually interpreted to create a land use and land cover map. These data have been integrated into a classification system for compatibility with the types of vegetation determined by the “Simplified Simple Biosphere – SSiB” surface model, generating a thematic map. In order to update the map, segmentation and non-supervised classification have been (ISOSEG) applied. This thematic map will be used in regional climate simulation to verify seasonal climate forecast improvement, resulting in a more realistic approach of the vegetation cover and land use of the region.

Palavras-chaves: land use and land cover, climatic modeling, remote sensing, Northeast Brazil, GIS, uso e cobertura da terra, modelagem climática, sensoriamento remoto, Nordeste do Brasil, Sistema de Informações Geográficas.

1. Introdução

Os esquemas de transferência solo-planta-atmosfera (SVATs) acoplados aos modelos meteorológicos consideram uma descrição das interações entre a superfície continental e a atmosfera; portanto, a representação inadequada ou incompleta das características da superfície pode ter um impacto negativo sobre a previsão de tempo e estudos climáticos. Assim, esforços têm sido despendidos no intuito de se buscar uma representação mais realista da vegetação (Wilson e Henderson-Sellers, 1985; Hall et al., 1995; Sud et al. 1996; DeFries et al., 1999; Champeaux et al., 2000), bem como em aprimorar o conhecimento dos detalhes regionais dos diversos processos na atmosfera e suas interações com o ciclo hidrológico.

Os mapas de vegetação utilizados nos modelos de superfície têm sido produzidos a partir de compilações de várias fontes de dados, tais como atlas, mapas locais e outros registros (Defries e Townshend, 1994). Essas informações são importantes para prover condições de contorno para os modelos climáticos (Matthews, 1983; Wilson e Henderson-Sellers, 1985) e, também, para os modelos de previsão numérica de tempo. Contudo, as séries de dados apresentam diversas restrições. Primeiro, a informação vem de diversas fontes, o que dificulta a compatibilização (Townshend et al., 1991); segundo, os mapas não podem ser frequentemente atualizados e; finalmente, a resolução de mapas globais convencionais é grosseira para atender os modelos atmosféricos mais avançados. Na atualidade, em aplicações meteorológicas, necessita-se de uma grande gama de resoluções, cuja tendência tem levado à especificação de modelos com resolução espacial mais alta e, em alguns casos, têm sido usados modelos aninhados ou sistemas de coordenadas estendidas, os quais demandam

descrição detalhada da superfície. Estas considerações justificam o uso de técnicas de mapeamento alternativo da vegetação baseadas em observações do espaço, as quais, em princípio, têm o potencial para atender as exigências no que se refere à homogeneidade e resolução espacial e temporal.

Neste contexto, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) vem realizando esforços no sentido de atualizar a representação da vegetação em todos os seus modelos numéricos. Para isto, mapas digitais de vegetação disponíveis têm sido utilizados para a determinação do tipo de vegetação predominante em dada quadrícula dos vários modelos. Considerando que há várias resoluções envolvidas e que grades de alta resolução deverão ser utilizadas para diversos propósitos, faz-se necessário levantar as mudanças dos usos do solo e da cobertura da vegetação. Num primeiro esforço, elaborou-se um mapa de vegetação da região da Amazônia Legal (Projeto ProVeg-AM), resolução de 1 km, obtido a partir de dados digitais da vegetação do Projeto RADAM-IBGE, dados temáticos do desflorestamento gerados pelo Programa Amazônia (monitoramento do desflorestamento da Amazônia Legal –PRODES) e imagens TM Landsat (Sestini et al., 2002). Obteve-se, assim, um mapa de representação mais realista da vegetação, o qual foi implementado no modelo simplificado de superfície (SsiB) e acoplado aos modelos global (MCGA) e regional (ETA) do CPTEC para avaliação das conseqüências climáticas decorrentes das mudanças na cobertura vegetal da região Amazônica (Correia, 2005).

Como continuação deste esforço, elaborou-se no presente trabalho um mapa atualizado dos usos da terra da região Nordeste do Brasil, mais as partes norte dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, integrantes da região de abrangência da antiga Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Com a representação mais detalhada e atualizada da vegetação da região do semi-árido e com o modelo de área limitada ETA, está sendo estudada as possíveis mudanças do balanço de energia à superfície e as circulações locais e regionais sobre o Nordeste, decorrentes das mudanças dos usos da terra e, de modo mais geral, para verificação posterior do impacto da melhoria da representação da vegetação nos modelos de previsão de tempo, clima e água no solo para a região (Projeto proVeg-NEB).

2. Área de Estudo

Para realização do presente estudo tomou-se como base todos os estados que compõem a região Nordeste do Brasil mais as porções norte dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo (**Figura 1**). A área ocupa uma extensão de 1.796.575 Km², equivalente a aproximadamente 20% do território nacional.

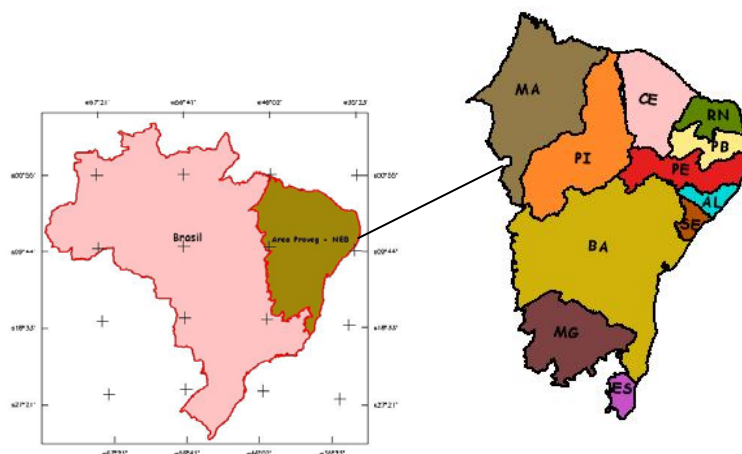


Figura 1 – Localização da área de estudo.

O ambiente macro-climático de toda a zona semi-árida abriga, em linhas gerais, duas grandes distinções: semi-árido de caráter atenuado e semi-árido de caráter acentuado (Embrapa, 1989). Na **Tabela 1** apresentam-se algumas características macro climáticas dos cenários mencionados.

Tabela 1 – Características macro-climáticas do semi-árido nordestino

Semi-árido de caráter atenuado (zona do agreste)	
Precipitação	600 a 800 mm/anuais
Temperatura	23 a 33 °C
Evapotranspiração	5 a 7 mm/dia
Vegetação	caatinga hipoxerófila de porte arbóreo arbustivo mais ou menos densa
Semi-árido de caráter acentuado (sertão nordestino)	
Precipitação	400 a 600 mm/anuais
Temperatura	25 a 35 °C
Evapotranspiração	6 a 8 mm/dia
Vegetação	caatinga hiperxerófila com predomínio de espécies mais adaptadas à seca e com maior número de cactáceas que na caatinga hipoxerófila

Fonte: Embrapa, 1989

Na região Nordeste, os solos assumem uma grande variação, tanto quanto aos tipos, como em relação às associações. Os de maior fertilidade natural e com melhor potencial de utilização agrícola situam-se em áreas calcárias, do embasamento cristalino e em faixas de deposição aluvial. Nas áreas de capeamento areníticos dos planaltos sedimentares, a fertilidade natural dos solos é menor, embora sejam boas as propriedades físicas dos mesmos (BNB, 2005). Os solos localizados na zona do agreste apresentam maior teor de umidade. Isso ocorre, especialmente, na faixa limite com a zona úmida costeira, nos sopés das grandes chapadas e dos planaltos, e em algumas superfícies elevadas. As condições climáticas menos agressivas permitem, com riscos menores, a colheita de uma safra agrícola sob condições naturais de chuva, onde se cultivam: milho, feijão, mandioca, algodão e batatinha, entre outras. Já na região de semi-árido acentuado a agricultura de sequeiro quase não existe, a manutenção de pastagens torna-se altamente comprometida, devido ao longo período de estiagem, somente sendo possível o uso de capins tolerantes como o capim buffel e mesmo assim em solos favoráveis que não sejam rasos e nem mal drenados (Cavalcanti, 1999).

3. Materiais e métodos

Para a elaboração do mapeamento proposto quatro fases foram consideradas:

- 1) Na primeira foram utilizados mosaicos compostos por cenas de imagens ETM⁺ do satélite Landsat 7 e TM Landsat 5. Esses mosaicos foram recortados pelos limites referentes a cada um dos Estados correspondentes a área de estudo, sendo, portanto, criados 11 bancos de dados separadamente. Foram utilizadas também imagens do mosaico GeoCover, disponíveis gratuitamente no site <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>. Essas imagens foram utilizadas para dirimir dúvidas, ou seja, para identificar áreas onde no mosaico Landsat 5 e 7 encontraram-se problemas relacionados com sazonalidade, radiometria ou cobertura de nuvens. Finalmente, como informação adicional, visando auxiliar no processo de interpretação, foi utilizado o mosaico disponibilizado no Google Earth. Este mosaico é um modelo tridimensional do globo

terrestre, construído a partir de satélites de média e alta resolução obtidos de fontes diversas. A **Tabela 2** contém informações das imagens que foram selecionadas para a interpretação e atualização dos usos da terra.

Tabela 2 – Informações sobre as imagens digitais utilizadas pelo projeto ProVeg NEB

Estado	Datas	Cobertura de nuvens	Imagens	Resolução	Projeção / Datum
Ma	2000	2%	22	60m	Policônica/Sad69
PI	1999 a 2000	5%	21	30m	Policônica/Sad69
CE	1999 a 2000	5%	11	30m	Policônica/Sad69
RN	2002	6%	07	15m	Policônica/Sad69
PB	1999 a 2000	6%	06	30m	Policônica/Sad69
PE	1999 a 2000	5%	09	30m	Policônica/Sad69
AL	1999 a 2000	5%	05	30m	Policônica/Sad69
SE	1990 a 1999	3%	03	30m	Policônica/Sad69
BA	1999 a 2001	2%	36	30m	Policônica/Sad69
MG	2001	0%	36	30m	Policônica/Sad69
ES	2001	0%	06	30m	Policônica/Sad69

- 2) Nesta etapa foram selecionados os mapas de vegetação que seriam utilizados como “verdade terrestre” durante o processo de interpretação, dentre eles o mapa do Projeto Radambrasil, na escala 1:1.000.000, de 1983 e o do IBGE, escala 1:5.000.000, de 1993. Os mapas do Radambrasil, por apresentarem maior detalhamento da vegetação, foram utilizados para verificação de áreas mais complexas, como foi o caso dos estados do Ceará e do Maranhão que apresentam tipos diferenciados de vegetação, mas respostas espectrais similares.
- 3) Foi realizada nesta etapa a compatibilização das classes de vegetação dos mapas do Projeto Radambrasil ou IBGE com aquelas consideradas pelo modelo SSiB. Na **Tabela 3** encontra-se a compatibilização das classes do IBGE com a dos modelos SSiB. Como as classes do modelo SSiB são restritas, sobretudo para a vegetação de caatinga, foram necessárias adaptações para algumas das classes interpretadas. Desta forma, diferentes alvos foram agrupados em uma única categoria, embora nem sempre sendo a melhor solução para o tipo de vegetação que teve que ser agregado.

Tabela 3 - Classes de vegetação consideradas no presente projeto e suas correspondências com as classes do projeto IBGE e as do modelo SSiB.

Projeto PROVEG-NE	IBGE	SSiB
1. Floresta Perene	Formações pioneiras (Pm, Pf, Pa) e Floresta ombrófila (Ds, Db, Ds, Dm, Aa, Ab, As, Mm, Mi).	1. árvores latifoliadas perenes (florestas tropicais)
2. Floresta Decídua	Floresta estacional semidecidual (Fa, Fb, Fs, Fm, Cb, Cs, Cm,)	2. árvores latifoliadas/aciculada (florestas mistas)
3. Savana (cerrado)	Savana (Sd, Sa, Sp, Sg)	6. árvores latifoliadas com coberturas arbustiva/herbácea
4. Savana Estépica (caatinga)	Estepe (Ed, Ea, Ep, Eg) Savana Estépica (Td, Ta, Tp, Tg)	8. arbustos latifoliados com coberturas herbáceas
5. Agropecuária	Atividades agrícolas (Ac)	12. cultivos

Tabela 3 - Continuação.

6. Solo Nu	Não mapeado	11. solo exposto
7. Área Urbana	Não mapeado	11. solo exposto
8. Corpos d'água	Não mapeado	13. água

4) Na quarta e última etapa, visando agilizar o processamento das imagens e garantir uma classificação mais acurada, o mosaico, além de estar recortado pelo limite do Estado, foi também recortado pelas classes correspondentes aos mapas do Radambrasil ou IBGE, que já estavam compatibilizados com as do modelo SSiB. Após esses recortes a imagem resultante foi segmentada, utilizando-se os limiares de similaridade 8 e área 30. Foi aplicado o classificador não supervisionado ISOSEG, por regiões, com limiar de aceitação igual a 95%. Em seguida, selecionaram-se na imagem padrões genéricos (arbóreos e arbustivos densos e abertos, áreas cultivadas, etc), sendo criada uma chave de interpretação contendo as classes florestas perenes e decíduas, savanas ou cerrados, caatinga, agropecuária, etc e o correspondente dessas nos mapas do Radambrasil ou IBGE e, posteriormente, no do modelo SSiB. Finalmente, o mapa atualizado do uso da terra foi re-amostrado para a resolução de 1 km e convertido para uma grade numérica através de um programa escrito na Linguagem de programação LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico.

4. Resultados e Discussões

A **Figura 3A** apresenta o mapa do IBGE compatibilizado para atender ao modelo SSiB e a **Figura 3B** o mapa resultante da atualização do uso da terra da região de estudo, ambos na resolução de 1 km e projeção Lat/Lon.

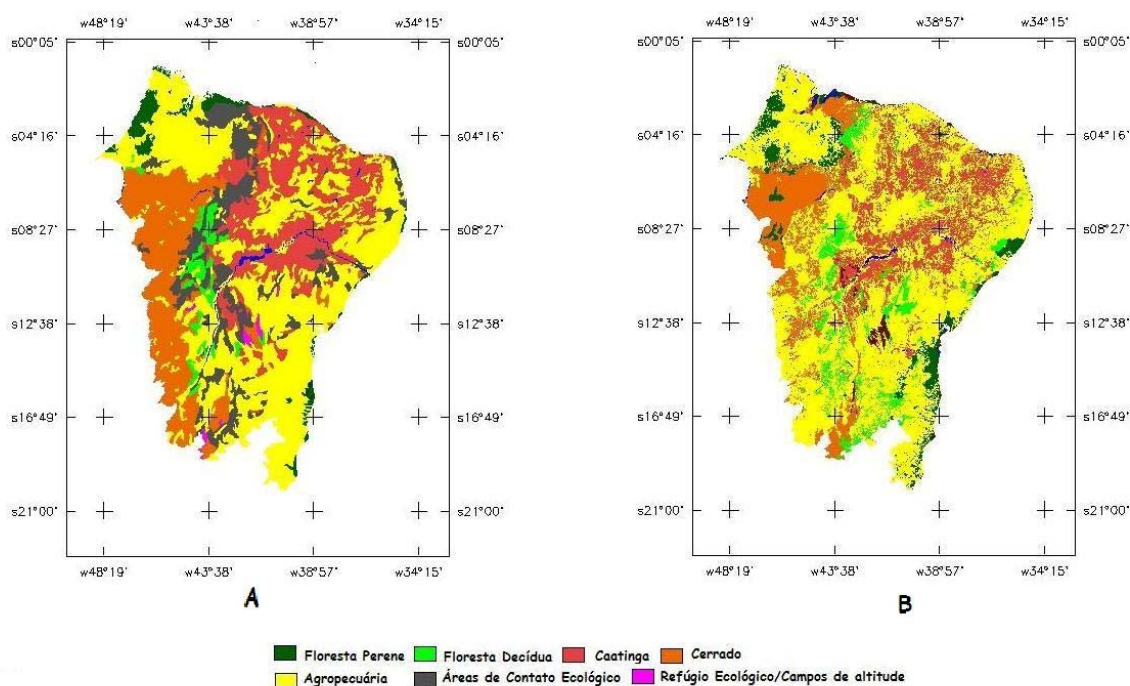


Figura 3 – Mapa do IBGE compatibilizado com as classes do modelo SSiB (A) e o mapa atualizado de vegetação e usos da terra da região Nordeste do Brasil mais as porções norte de Minas Gerais e do Espírito Santo (B).

Na **Tabela 4** apresentam-se as estimativas das áreas ocupadas por cada tipo de vegetação e usos da terra da região NEB mapeada pelo IBGE (1993), compatibilizados para as classes do modelo SSiB, e o cálculo das áreas mapeadas pelo projeto Proveg-NEB.

Tabela 4 - Cálculo aproximado das áreas das classes temáticas contidas no mapa do IBGE e no mapa atualizado do Projeto ProVeg-NEB.

Usos da terra considerados pelo projeto	Área das classes mapeadas pelo IBGE		Área das classes atualizadas e mapeadas pelo Proveg	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Floresta Perene	53.610	3,00	98.090	5,46
Floresta Decídua	44.995	2,52	109.040	6,08
Cerrado	311.780	17,48	235.660	13,12
Caatinga	350.360	19,65	274.560	15,28
Áreas de contato	205.532	11,53	resolvidas	0
Áreas campos de altitude	8.798	0,50	compatibilizada	0
Solo exposto	0.000	0,00	20.585	1,14
Agropecuária	796.135	44,65	1.042.740	58,04
Água	11.910	0,67	15.900	0,88
TOTAL	1.783.120	100	1.796.575	100

No mapa atualizado dos usos da terra pode-se observar que muitas das classes de vegetação nativas consideradas no mapa do IBGE foram degradadas, com conseqüente diminuição de áreas. Por outro lado, as classes Florestas Perene (53.610 km² = 3%) e Decídua (44.995 km² = 2,52%) tiveram suas áreas aumentadas (98.090km² = 5% e 109.040km² = 6%, respectivamente), devido, sobretudo, à interpretação fisionômica - estrutural das áreas de contato (205.532km² = 11%) resolvidas no presente trabalho.

Os resultados mostram que uma grande área de Cerrado foi devastada de 1993 (311.780 km² = 17%) para 2001 (235.660 km² = 13%), o que significa que cerca de 75% da área original já foi destruída. O mesmo se pode dizer com relação à Caatinga, que em 1993 ocupava 350.360 km² (20% da área de estudo) e atualmente ocupa apenas 274.560 km² (15%), o que significa que cerca de 80% da sua área original foi devastada em poucos anos. Em relação ao cerrado, ressalta-se que a área referente a este tipo de vegetação na região do Estado do Maranhão está superestimada no mapa do Projeto Proveg-NEB, uma vez que a metodologia utilizada por Sestini et al. 2002, no escopo do Projeto Proveg-AM, foi diferente daquela utilizada no presente trabalho. Para resolver este problema estão sendo feitos ajustes das classes interpretadas em ambos os projetos, tal que se obtenha um mapa mais coerente.

As áreas de contato, contidas no mapa do IBGE, foram resolvidas durante a interpretação visual do mosaico de imagens Landsat; portanto, o mapa atualizado do projeto ProVeg-NEB não considera esta classe. Quanto às áreas de campos de altitudes, devido às suas características fisionômicas e a sua resposta espectral na imagem, elas foram convertidas para solo exposto.

Pode-se também observar, analisando-se a Figura 3 e a Tabela 4, que houve um aumento considerável da classe agropecuária no mapa atualizado (1.042,740 km² = 58%) em relação ao mapa do IBGE (796.135km² = 44%). Essa classe pode estar superestimada, uma vez que nela foram englobadas áreas de agricultura em diversos estágios de crescimento, áreas de pastagens e áreas em processo de desertificação ou já desertificadas, que podem ser confundidas com áreas de vegetação nativa de caatinga e cerrado nas suas formas mais abertas (herbáceo-arbustivas). No que concerne às áreas de solo nu, que não foram

identificadas nos mapeamentos anteriores, no presente projeto elas foram mapeadas, uma vez que apresentam uma resposta espectral típica nas imagens orbitais utilizadas. Elas ocupam uma área de quase 21.000 km², o que corresponde a mais de 1% da área total.

Quanto às áreas aquíferas, apesar de terem sido mapeados apenas os corpos d'água com tamanhos significativos, ou seja, somente rios, lagos e lagoas com no mínimo 500 metros de largura, obteve-se uma área de 15.900 Km² (0,88%), o que implica em uma diferença aproximada de 4.000 Km² das áreas aquíferas mapeadas pelo IBGE (11.910 Km² = 0,67%).

5. Considerações Finais

Para a região Nordeste, os parâmetros de segmentação e de classificação considerados foram muito eficientes na separabilidade de feições e de tipos de vegetação que necessitam ser especificados nos modelos meteorológicos e climatológicos.

A utilização de outros mosaicos elaborados com imagens de outras épocas (datas) como, por exemplo, os mosaicos do GeoCover da NASA que foram elaborados com imagens com menor percentual de nuvens e sem problemas relacionados com sazonalidade e radiometria, ou mesmo a simples visualização do Google Earth, foram de grande valia para a interpretação de algumas sub-áreas de difícil identificação do tipo de cobertura vegetal ou até mesmo de outros usos contidas nos mosaicos adquiridos especificamente para o projeto presente.

No escopo da modelagem meteorológica, os mapas individuais dos Estados de Alagoas, Ceará, Paraíba e Sergipe, juntamente com aquele previamente obtido para a área da Amazônia Legal, foram utilizados para simulação climática regional, ou seja, para verificação das melhorias na previsão sazonal do clima, resultante da introdução de representações realísticas de cobertura vegetal e usos da terra (Souza (2006). Ressalta-se que os impactos no clima sazonal da região Nordeste do Brasil, decorrentes da consideração de um mapa de vegetação atualizado, foram avaliados considerando na base de dados do modelo de superfície SSiB, parâmetros de vegetação e de solo irreais no que concerne ao ecossistema caatinga do NEB. Estes parâmetros discriminados nos modelos são aqueles referentes à vegetação da savana-estépica africana, visto que ainda não foram realizados trabalhos de calibração com dados da savana-estépica brasileira (caatinga). Outrossim, a prescrição incorreta ou insuficiente na representação dos parâmetros físicos e fisiológicos da superfície pode conduzir a uma deficiência no diagnóstico dos fluxos turbulentos à superfície, comprometendo assim o acoplamento entre a superfície e a atmosfera, com conseqüentes erros na previsão de tempo e clima. Os experimentos com o modelo de superfície SSiB têm apontado a existência de erros sistemáticos de superestimativa de precipitação sobre o NEB, quando acoplado ao modelo atmosférico MCGA operacional do CPTEC. Os ajustes dos parâmetros de superfície e de solo no modelo de superfície ocorrem via etapas de calibração, o qual demanda contar com dados meteorológicos de superfície e de fluxos turbulentos. Portanto, o estudo de sensibilidade e a calibração do modelo SSiB com dados experimentais obtidos na caatinga, serão de grande valia para a melhoria da modelagem.

Finalmente, seria relevante identificar os tipos de culturas presentes na área de estudo, a fim de se obter um mapeamento mais detalhado dos tipos de cobertura da terra para utilização em modelagem ambiental. Também seria interessante considerar estudos multitemporais das imagens para melhor delimitação dos tipos de vegetação e culturas que variam sazonalmente.

Referências

- Banco do Nordeste do Brasil/Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos hídricos. **Proposta de dimensionamento do semi-árido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2005. 107 p.
- Cavalcanti, A.C. **Diagnóstico ambiental do município de Petrolina, Pernambuco**. Embrapa – CNPS, ERP/NE. Recife. 1999. 60 p.
- Correia, F.W.S. **Modelagem do impacto de modificações da cobertura vegetal amazônica no clima regional**. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE, 2005. 366p.
- Champeaux, J. L. et al.; AVHRR-derived vegetation mapping over Western Europe for use in numerical weather prediction models. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 6/7, 1183-1199, 2000.
- DeFries, R. S., Townshend, J. R. G. NDVI derived land cover classification at global scales. **International Journal Remote Sensing**, 15, 3567-3586, 1994.
- DeFries, R. S.; Towshend, J. R. G.; Hansen, M. C. Continuous fields of vegetation characteristics at the global scale at 1 km resolution. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. D14, 16,911-16,923, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Mapa de solos da região Nordeste do Brasil (escala 1:2.000.000)**. EMBRAPA, CNPS – Regional Nordeste. Recife. 1989.
- Hall, F. G.; Towshend, J. R.; Engman, E. T. Status of remote sensing algorithms for estimation of land surface state parameters. **Remote Sensing of Environment**, 51, 138-156, 1995.
- Matthews, E. Global vegetation and land use: new high resolution data bases for climate studies. **J. Clim. Appl. Meteorol.**, 22, 474-487, 1983.
- Sellers, P. J. et al. A Simple Biosphere Model (SiB) for use within general circulation models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 06, 505-531, 1986.
- Sestini, M. F., Alvalá, R. C. S., Mello, E. M. K. et al. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. INPE, São José dos Campos, 2002. INPE-8972-RPQ/730.
- Souza, S. S.; Tomasella, J.; Gracia, M. G.; Amorim, M. C.; Menezes, P. C. P.; Pinto, C. A. M.. O Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real na área de atuação da SUDENE – PROCLIMA. **Boletim da Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, p.15-24, 2001.
- Souza, S.S. **Impactos climáticos regionais da mudança de vegetação no semi-árido do Nordeste brasileiro**. 2006. 205 p. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos: INPE.
- Sud, Y. C.; Yang, R.; Walker, G. K. Impact of in situ deforestation in Amazon on the regional climate: general circulation model simulation study. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D3, 7095-7109, 1996.
- Towshend, J. R. G., Justice, C. O., Li, W., Gurney, C., McManus, J. Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. **Remote Sensing of Environment**, 35, 243-256, 1991.
- Wilson, M. F.; Henderson-Sellers, A. A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models. **Journal of Climatology**. 1985, v. 5, 119-143.
- Xue, Y. and Shukla, J. The influence of land surface properties on Sahel climate. I, desertification. **Journal of Climate**, 6, 2232-2245, 1993.