

Preferências topográficas das áreas cultivadas com eucalipto no Vale do Paraíba Paulista

Nelson Wellausen Dias^{1,2}
Getulio Teixeira Batista²
Celso de Souza Catelani²

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Av. Francisco Porto, 107 – 49000-000 – Aracaju – SE, Brasil
nelson.dias@ibge.gov.br

² Universidade de Taubaté - UNITAU
Est. Mun. Dr. José Luiz Cembranelli, 5000 - 12081-010 - Taubaté - SP, Brasil
getulio@agro.unitau.br; cscatelani@gmail.com

Abstract. Degraded lands due to coffee plantation cycle in the 19th and 20th in the eastern portion of the State of São Paulo is a heritage that contemporary rural communities have to face in order to turn those lands in sources of subsistence and income. Eucalyptus appeared as an option in the 1990s and plantation areas in this region have expanded rapidly in the last 10 years. This fact raised a question: does the spatial distribution of areas planted with eucalyptus in the Paraíba river valley, in the State of São Paulo (with approximately 15.000 sq. km), show any preference for certain topographical features? The objective of this article is to identify the topographic characteristics of areas used for eucalyptus plantation in the Paraíba do Sul river valley by developing a geospatial database and applying a model to characterize the relationships among topographic parameters. Methods included the development of three layers representing slope (classified in six categories), aspect (classified in four categories), and topographic index (classified in four categories) based on DEM data provided by the TOPODATA Project. Results indicate that eucalyptus plantations are located in areas with lower topographic index values where lower soil water concentrations are found and legal conservation areas are absent. These areas also are located on higher slopes and few on flatlands. No preference was observed for aspect. Adopted methods appear to be sufficiently robust for the analysis of such a relative large area.

Palavras-chave: hydrographic basin, topographic parameters, eucalyptus plantations, bacia hidrográfica, parâmetros topográficos, plantios de eucalipto.

1. Introdução

O Vale do Paraíba no trecho paulista se localiza entre as serras do Mar e da Mantiqueira e apresenta características de relevo com diversidade topográfica também conhecidos como “mares de morros” (Ab’Saber, 2003). Os ciclos de produção agrícola que passaram pela região, principalmente o café, deixaram como herança a superfície do solo desprovida de vegetação natural (mata atlântica e cerrado) e, conseqüentemente, os solos da região desprotegidos da ação da erosão e degradação com perda da fertilidade. Nos últimos anos tem se intensificado o plantio de eucalipto nas terras hoje desvalorizadas da região e pela instalação de fábricas de celulose, mas, principalmente, pela vocação silvicultural da região (Freitas Junior e Marson, 2009).

A expansão das áreas cultivadas com eucalipto segue critérios, aparentemente, econômicos (valor da terra) e logísticos (proximidade das fábricas de celulose). Mas também existem aspectos políticos que interferem com o padrão de expansão dos plantios. Estudos anteriores já mostraram a concentração de áreas plantadas com eucalipto em alguns municípios, como Paraíba (Arguello et al., 2009; Kronka, 2002), enquanto outros se utilizam instrumentos legais para barrar a expansão dos plantios em seu território, como em São Luis do Paraitinga (Farias, 2008).

A aplicação de modelos tridimensionais que permitem representar a superfície do terreno e gerar atributos que descrevem parâmetros específicos do terreno, aliados ao uso de ferramentas de geoprocessamento para a análise espacial de atributos relacionados à

drenagem e à cobertura vegetal, induziram à seguinte questão: “a distribuição espacial das áreas cultivadas com eucalipto no Vale do Paraíba Paulista demonstram alguma preferência por determinadas características topográficas do território?”

No sentido de responder a esta questão foi elaborado este estudo que teve como objetivo identificar as características topográficas das áreas cultivadas com eucalipto no Vale do Paraíba Paulista.

2. Material e Métodos

Esta pesquisa foi desenvolvida tendo como objeto o Vale do Paraíba Paulista com área aproximada de 15.000 km² localizado no Cone Leste do Estado de São Paulo entre as coordenadas 22° 24' e 23° 39' de latitude sul e 44° 13' e 46° 22' de longitude oeste.

Primeiramente foi gerado um Modelo Digital do Terreno (MDT) a partir de quatro quadrantes (22_45_ZN, 23_45_ZN, 22_465_ZN e 23_465_ZN) obtidos do Projeto TOPODATA do Instituto Nacional e Pesquisas Espaciais (INPE). Estes quadrantes foram utilizados para gerar um mosaico equalizado utilizando o programa ENVI versão 4.3. Os dados do TOPODATA foram gerados a partir das imagens do sensor orbital SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) com o objetivo de aprimorar a resolução espacial de MDTs de 90 para 30 metros a partir de técnicas de krigagem descritas em Valeriano e Rosseti (2008). Uma vez gerado o mosaico, a imagem foi recortada utilizando como plano de corte o limite em formato vetorial da bacia do rio Paraíba do Sul no trecho paulista disponível de projeto anterior (Dias et al., 2009).

A partir do MDT recortado para a bacia objeto deste estudo, foram gerados planos de informação que continham as derivações topográficas de declividade e faceamento. Ambas foram geradas no programa ENVI utilizando as ferramentas de modelagem topográfica (*Topographic Modeling*) a partir de uma janela móvel de nove células (kernel de três pixels) cujos valores continham até seis casas decimais. A declividade, originalmente expressa em graus, foi reclassificada em seis classes expressas em porcentagem seguindo o padrão do Banco de Dados Ambientais Georreferenciados da Bacia do Una (Batista et al., 2005), a saber: Classe A (0 a 3%), Classe B (3 a 5%), Classe C (5 a 12%), Classe D (12 a 20%), Classe E (20 a 40%) e Classe F (mais de 40%). Os dados de faceamento foram reclassificados em quatro classes de azimute, a saber: N (315° a 45°), E (45° a 135°), S (135° a 225°), e W (225° a 315°). Ambas reclassificações foram feitas utilizando a ferramenta de classificação Árvore de Decisão (*Decision Tree*) do ENVI.

Posteriormente, foi determinado o Índice Topográfico (IT) para toda a área de estudo. O IT foi proposto, inicialmente, por Beven e Kirby (1979) para determinar um valor absoluto relacionado com o potencial de umidade do solo em função das características topográficas de uma bacia hidrográfica. Os valores são distribuídos por toda a bacia uma vez que são determinados para cada uma das células do MDT de entrada. O valor determinado para cada célula é uma função da curvatura do terreno a montante de cada ponto considerado e da área de contribuição da bacia até aquele ponto. Considerando que o grau de detalhamento dos elementos derivados de MDTs está relacionado com a resolução espacial da grade numérica, é recomendado que a resolução do MDT para fins da determinação do IT seja de, pelo menos, 50 metros (Quinn et al., 1995). A grade utilizada a partir do Projeto TOPODATA tem resolução de 30 metros.

O Índice Topográfico é calculado pela equação:

$$IT_i = \frac{a_i}{\tan \beta_i}$$

Onde:

a_i = área de drenagem a montante do ponto i

$\tan \beta_i$ = é a declividade do terreno no ponto i

Para a obtenção do Índice Topográfico das duas bacias objeto dessa extrapolação, foi utilizado o aplicativo Hand_Grid, descrito em Rennó et al. (2008). O procedimento para determinação do Índice Topográfico engloba três etapas. Na primeira etapa é feita a correção do MDT para remover as imperfeições dos dados da grade numérica. Nessa correção são ajustados os chamados *sinks* (depressões) e *pits* (cavas) que são produtos das influências da vegetação e das áreas planas sobre o sinal captado pelo sensor imageador. Na segunda etapa é feita a determinação da rede de drenagem (ou malha hidrográfica) a partir da definição de um limiar para a simplificação das linhas de fluxo (neste caso 50). Na terceira etapa os insumos gerados anteriormente são processados em conjunto para determinar o valor do Índice Topográfico para cada célula da grade.

2.4. Mapeamento da cobertura do solo com eucalipto

A identificação das áreas com cobertura do solo com eucalipto foi gerada a partir da classificação supervisionada de um mosaico de imagens equalizadas e mosaicadas obtidas pelo Landsat 5 TM em fevereiro de 2010. A classificação incluiu a coleta de amostras de treinamento para as classes Pasto, Urbana, Regeneração/Cultivo, Reflorestamento (eucalipto), Mata e Água. No processo de classificação, desenvolvido no programa SPRING 4.3, foi utilizado o classificador MaxVer (Máxima Verossemelhança). Posteriormente, foi gerada uma tabela de confusão para avaliação da classificação obtida com base em áreas conhecidas dentro da bacia do Una que representa cerca de 3% da área total estudada.

2.5. Análise espacial

Para a geração dos produtos finais desta pesquisa foi desenvolvido um modelo de cruzamento entre os planos de informação topográficos (declividade, faceamento e Índice Topográfico) e o plano de cobertura do solo gerado pela classificação supervisionada. O modelo foi desenvolvido com o emprego da ferramenta Árvore de Decisão (*Decision Tree*) do programa ENVI 4.3 e, posteriormente, analisadas, estatística e graficamente em planilhas eletrônicas.

Os dados de entrada do modelo foram os planos de informação contendo declividade em seis classes, faceamento em quatro classes, Índice Topográfico em quatro classes e mapa de cobertura do solo no qual foi individualizada a classe Reflorestamento (eucalipto). Na primeira fase do modelo foi feita a seleção das áreas com cobertura de eucalipto, a partir das quais os demais parâmetros foram analisados. Na segunda fase foram selecionadas as classes de Índice Topográfico sobre as quais foram selecionadas as classes de faceamento (terceira fase) e finalmente declividade (quarta fase). Esses cruzamentos produziram, no final, 96 classes que foram identificadas por três letras, a saber: primeira letra de A a D para o Índice Topográfico (A = 0 a 4; B = 4 a 8; C = 8 a 12; D = 12 +); segunda letra de A a D para o faceamento (A = Face Norte; B = Face Leste; C = Face Sul; D = Face Oeste); e terceira letra de A a F para a declividade (A = 0 a 3%; B = 3 a 5%; C = 5 a 12%; D = 12 a 20%; E = 20 a 40%; F = 40% +). Dessa forma, a classe, por exemplo, ADF representa um Índice Topográfico de 0 a 4, faceamento Oeste e declividade superior a 40%.

3. Resultados e Discussão

Os produtos gerados para a representação da declividade e do faceamento, a partir das análises de dados do Projeto TOPODATA permitiram a construção de dois planos de informação anexados ao banco de dados geográficos desta pesquisa. Para ilustrar esses produtos, a Figura 1 mostra o detalhe de uma mesma porção da área de estudo representada

pelos classes desses dois planos. Quanto à declividade, sua distribuição na área de estudo como um todo apresenta dois domínios bem distintos. Um primeiro circundando a maior parte da área onde predominam as declividades maiores justamente pelo efeito do “mar de morros”. O segundo se concentra em uma feição diagonal alongada, na porção central da área, onde se localiza a bacia sedimentar de Taubaté, descrita em diversos outros trabalhos (Dias et al., 2009; Diniz et al., 2008; Melo et al., 1976; Hasui e Ponçano, 1978), e que apresenta declividades menores pelo influência hidrológica do rio Paraíba do Sul.

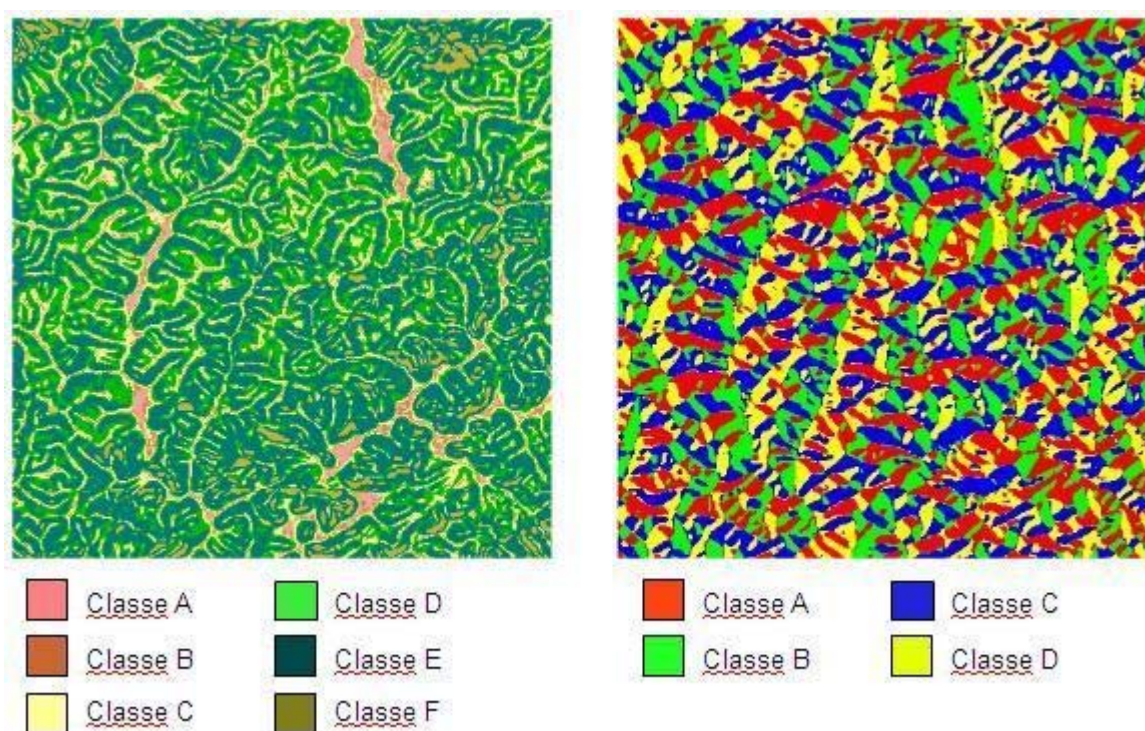


Figura 1. Detalhe dos planos de informação de declividade e faceamento com suas respectivas classes.

A distribuição espacial das classes de faceamento (Figura 1, lado direito) se mostra bastante diversa e mais homogeneamente distribuída que a declividade.

Os resultados da reclassificação dos valores do Índice Topográfico em quatro classes podem ser avaliados pelo detalhe mostrado na Figura 2. Pode-se observar na figura que a maior parte da área se concentra na Classe A (valores de 0 a 4) os quais, por apresentarem valores relativamente baixos, indicam áreas onde o acúmulo de água no solo, em função dos efeitos da precipitação, infiltração e escoamento superficial, é menor devido à curvatura do terreno a montante de cada célula e à área de contribuição (ou área de acumulação) desde o divisor de água de cada bacia até o célula considerada. As áreas da Classe B já indicam áreas onde deve haver um acúmulo maior de água no solo e, por conseguinte, onde o impacto do uso do solo sobre o ciclo hidrológico da bacia começa a ser mais elevado. A Classe C indica áreas adjacentes aos cursos d'água ou mesmo a presença de cursos intermitentes. Por sua vez a Classe D inclui as áreas com maior acumulação de água e, conseqüentemente, indicam a localização da rede de drenagem com base na modelagem topográfica realizada.

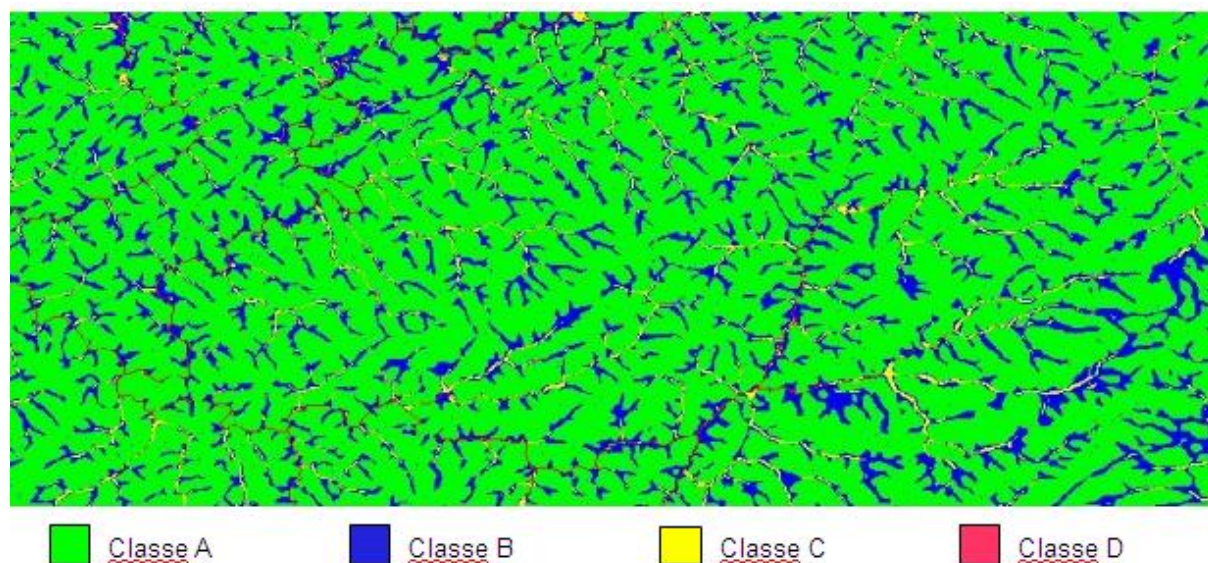


Figura 2. Detalhe do plano de informação gerado a partir da reclassificação dos valores de Índice Topográfico em quatro categorias.

Tabela 1. Percentual da área total ocupada por cada classe dos três planos de informação utilizados no modelo de análise espacial.

Índice Topográfico	Cobertura (%)	Faceamento	Cobertura (%)	Declividade	Cobertura (%)
A	72,0	A	27,8	A	18,6
B	23,4	B	22,8	B	6,7
C	3,6	C	26,8	C	4,1
D	1,0	D	22,6	D	13,7
				E	17,7
				F	39,1

Como pode ser observado nas Figuras 1 e 2, as classes utilizadas neste estudo variam consideravelmente quanto a cobertura da área de estudo. A Tabela 1 mostra o percentual que cada classe ocupa em relação à área total para cada um dos três planos de informação. No Índice Topográfico há uma clara predominância da Classe A sobre as demais (72% do total) que junto com a Classe B somam, aproximadamente, 95% da área total. Já o faceamento é bem melhor distribuído entre as classes, com uma leve predominância de A e C sobre B e D. Finalmente, a declividade apresenta significativa predominância da Classe F sobre as demais, justamente a de maior declividade. Isso corrobora a prevalência de “mar de morros” já mencionado. No outro extremo pode-se destacar a cobertura relativamente pequena das classes B e C que juntas somam cerca de 10% da área. Evidentemente que os resultados obtidos a partir dos cruzamentos desses três planos produzem classes que são influenciadas pela predominância espacial maior ou menor de cada classe. Essa influência foi considerada na elaboração dos resultados finais do modelo de análise espacial.

A Tabela 2 mostra os resultados finais do modelo para as classes que, somadas, representavam 85% da área de estudo. Portanto, das 96 classes geradas a partir dos cruzamentos dos três planos, apenas 20 classes respondem por 85% da área total. Além disso, as primeiras seis (ACF, AAF, ADF, ABF, ACA e AAA) já respondem por cerca de 50% da área total.

Ao se analisar as classes presentes em cada uma das colunas de Combinação, fica evidente a predominância, principalmente da Classe A, mas também da Classe B, no componente Índice Topográfico (coluna IT). Já na coluna Face (faceamento) todas as quatro

classes estão representadas. Na coluna Decliv (declividade) há certa predominância das Classes E e F, além de A e D. A presença dessas classes nas combinações está coerente com os percentuais de cobertura apresentados na Tabela 1.

No entanto, se podem observar variações consideráveis em relação ao que seria um resultado esperado, segundo os valores de probabilidade (coluna Prob, Tabela 2), se comparados com os valores de Ocorrência. As seis combinações com maior ocorrência apresentam valores significativamente maiores do que a probabilidade esperada. No caso das Classes ACF, AAF e ADF, as ocorrências alcançam, aproximadamente, 25%, 20% e 35% acima da expectativa, respectivamente. Sendo que a maior diferença ocorre para a Classe ACA com cerca de 51% acima da expectativa. Já nas classes com valores de ocorrência menores (a partir da décima classe) a maioria dos valores de probabilidade se apresentam maiores que as ocorrências observadas.

Tabela 2. Resultados da análise espacial expressa em número de pixels (Frequência) por categoria, percentual da categorial em relação ao total de pixels, percentual acumulado e combinação de classes por plano de informação. Na última coluna é apresentada a probabilidade de ocorrência de cada combinação de classe e expressa em porcentagem.

	Frequência	Ocorrência (%)	Perc. Acum.	Combinação			Prob. (%)
				IT	Face	Decliv.	
1	130656	9,88	9,88	A	C	F	7.5
2	128333	9,71	19,59	A	A	F	7.8
3	127360	9,63	29,22	A	D	F	6.3
4	101855	7,70	36,92	A	B	F	6.4
5	94084	7,12	44,04	A	C	A	3.5
6	77180	5,84	49,87	A	A	A	3.7
7	53260	4,03	53,90	A	D	A	3.1
8	39704	3,00	56,90	A	D	E	2.9
9	38310	2,90	59,80	A	B	A	2.1
10	38307	2,90	62,70	A	A	E	3.5
11	36639	2,77	65,47	A	C	E	3.4
12	33857	2,56	68,03	A	B	E	2.9
13	26587	2,01	70,04	B	C	F	2.5
14	24040	1,82	71,86	B	A	F	2.5
15	19118	1,45	73,30	B	D	F	2.1
16	18714	1,42	74,72	B	D	E	0.9
17	18670	1,41	76,13	B	C	E	2.1
18	17961	1,36	77,49	A	A	D	2.7
19	17815	1,35	78,84	B	A	E	1.2
20	17720	1,34	80,18	A	D	D	2.2

Com base nos resultados obtidos é possível se fazer algumas inferências sobre a relação entre os plantios de eucalipto e as características topográficas do Vale do Paraíba Paulista. Primeiro, a grande maioria das áreas plantadas com eucalipto estão localizadas nas áreas com menores valores de Índice Topográfico, portanto, áreas com menor retenção de água no solo. Dessa forma, se pode dizer que as áreas com maior potencial de acúmulo de água, ou seja, as áreas adjacentes aos cursos d'água (normalmente inseridas no contexto legal das áreas de preservação permanente – APP) não são preferidas para o plantio de eucalipto. Essa observação é coerente com o que se tem observado nas áreas plantadas com eucalipto na bacia do Una (área monitorada em maior detalhe pela equipe do LAGEO da UNITAU) onde as áreas de APP são, em sua grande maioria, protegidas e recuperadas com vegetação nativa pelas empresas que realizam os plantios. Segundo, os resultados apontam para a inexistência de preferências com relação ao faceamento. Isso pode ser justificado pelo fato do eucalipto

não ser exigente com relação à incidência de energia solar para o seu desenvolvimento. Essa espécie, reconhecidamente, se adapta a condições ambientais extremas. Terceiro, quanto à declividade pode-se afirmar que as áreas plantadas com eucalipto se localizam, preferencialmente, nas áreas de variação topográfica mais acentuada (Classes E e F) com algumas áreas de várzea nessas regiões também sendo plantadas. No Vale do Paraíba, as poucas áreas de várzea que existem nos meandros do “mar de morros” são consideradas as terras mais nobres das propriedades rurais (por terem os solos mais férteis e melhor irrigados), portanto, são áreas onde os proprietários preferem cultivar outros produtos ao invés de eucalipto.

4. Conclusões

A metodologia adotada nesta pesquisa mostrou-se suficientemente robusta para gerar os resultados esperados. Entretanto, pretendia-se executar o modelo com um número maior de classes de Índice Topográfico e faceamento, mas, infelizmente, o software, a partir de um certo grau de complexidade do modelo, passou a se mostrar instável e excessivamente demorado. Por isso foi necessário limitar a quatro classes desses dois planos de informação.

O aplicativo Hand-Grid mostrou-se extremamente robusto e eficaz na geração dos diversos insumos intermediários e nos valores finais do Índice Topográfico para toda a bacia do Paraíba do Sul Paulista. Outros modelos de software livre para essa mesma finalidade limitam-se a gerar esses valores para grades de no máximo 500 células.

Os resultados indicaram que os plantios de eucalipto na área de estudo possuem uma distribuição espacial que procura usar as terras mais íngremes e com baixo potencial de acumulação de água no solo evitando, em sua grande maioria, áreas adjacentes aos corpos d'água compatíveis com a localização das áreas de APP de margens de rios e nascentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela viabilização de recursos para a realização desta pesquisa por meio da concessão de Projeto Universal, Processo N° 48990/2007-7.

Referências Bibliográficas

- Ab'Saber, A.N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. Ateliê Editorial, São Paulo, 152 p., 2003.
- Arguello, F. V. P.; Batista, G. T.; Ponzoni, F. J. Análise da distribuição espacial das áreas de eucalipto no Cone Leste Paulista. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais ...** São José dos Campos, INPE, 2009, v. 1, p. 5611-5616.
- Batista, G. T.; Targa, M. S.; Fidalgo, E. C. C. **Banco de dados ambientais da Bacia do Rio Una, Bacia do Rio Paraíba do Sul**. DSPACE. (<http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/handle/2315/51>), Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais. 16p., 2005.
- Beven, K. J., Kirkby, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, n. 24, p. 43-69, 1979.
- Dias, N. W., Diniz, H. N., Targa, M. S., Batista, G. T. Geospatial technology applied to the identification of groundwater recharge areas in northeastern São Paulo, Brazil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 21-30, 2009. (doi:10.4136/ambi-agua.83).
- Diniz, H. N., Santoro, J., Batista, G. T., Dias, N. W., Targa, M. S. Hydrogeology and hydrodynamics of Taubaté aquifer, São Paulo, Brazil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 108-137, 2008. (doi:10.4136/ambi-agua.46).

- Farias, C. **Justiça barra cultivo de eucalipto em São Luiz do Paraitinga (SP)**. Folhaonline. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u380546.shtml>>. 10/03/2008. Acesso em: 2 nov. 2010.
- Freitas Junior, G. de; Marson, A. A. Biogeografia aplicada ao diagnóstico ambiental em áreas rurais degradadas no Vale do Paraíba paulista. In: II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, **Anais...** Taubaté, IPABHi, p. 393-400. (doi:10.4136/serhidro.51).
- Hasui, Y., Ponçano, W. Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30, **Anais...** Recife, SBG, v. 1, p. 368-381, 1978.
- Kronka, F. J.N, Nalon, M. A., Matsukuma, C. K. **Inventário florestal das áreas reflorestadas no estado de São Paulo**. SMA/IF, São Paulo, 184 p, 2002.
- Melo, M. S., Caetano, S. L. V., Coimbra, A. M. Tectônica e sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, **Anais...** Goiânia, SBG, v. 1, p. 321-336, 1986.
- Quinn, P., K., J. Beven Lamb, R.. The $\ln(a/\tan\beta)$ index: how to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework, **Hydrological Process**, 9, p. 161-182, 1995.
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J. and Waterloo, M. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, 112, p. 3469–3481, 2008.
- Valeriano, M. M. e Rosseti, D. F. TOPODATA: **Seleção de Coeficientes Geoestísticos para o Refinamento Unificado de Dados SRTM**. INPE, São José dos Campos, 50 p., 2008.