

Mapeamento da rede fluvial e fragmentação de uma mesobacia hidrográfica no nordeste paraense

Pedro Gerhard¹

Giselly Brito Conde¹

¹Embrapa Amazônia Oriental - EMBRAPA/ SHIFT TIPITAMBA

Caixa Postal 09 - 66095-100 – Belém – PA, Brasil

pgerhard@cpatu.embrapa.br, giselly.conde@hotmail.com

Abstract: Mapping fluvial systems poses difficulties that includes acquiring accurate terrain elevation data and interpreting satellite imagery under the influence of different land covers. Checking mapped data into the field includes tracking roads and trails and recording road/stream crossings. These offer information on stream network fragmentation, a relatively unknown environmental matter. Regarding these, we mapped both streams and roads from a 15,000 hectares catchment on northeastern Pará, Brazil. Available data included Landsat-TM and ALOS-Prism imagery, digitized 100,000 topography maps and 90-m SRTM elevation data. Stream network was generated by SWAT modeling, aided by the existing stream network from topographic maps. Drainage was further corrected by a visual interpretation of the ALOS-Prism data (e.g., adding detail on sinuous stream reaches). Field work included the notation of roads/stream crossings, either previously mapped or not. From this field data, we observed that SWAT modeling err both extending upstream and retracting downstream different catchment sectors, probably relating to geologic, pedologic, land use and land cover local features. The 105 observed crossings presented stream network fragmentation events, such as permanently upstream flooded areas and bad culvert design (70% of occurrences). The study showed that using map sources of different spatial scales may hinder the adequate drainage mapping, but thorough field work may partially adjust for these imprecision. In order to account for environmental hazards such as stream network fragmentation, mapping a drainage network on the detail scale remains a work that must include further mapped data and considerations on the regional hydrology and climate seasonality.

Palavras-chave: ALOS, malha viária, planejamento ambiental, hidrografia, alagados

Keywords: ALOS, road network, environmental planning, hydrography, flooded areas

1. Introdução

A bacia hidrográfica é, entre as unidades de observação e análise da paisagem, a mais utilizada (Batista de Lima et al., 2009), pois representa um espaço onde interagem diversos processos físicos, geológicos, bioquímicos e culturais (Moldan e Cerny, 1994).

A bacia é um espaço onde interagem elementos naturais, como a rede fluvial, e antropogênicos, como a malha viária. A partir desse espaço ocupado comum e da dinâmica estabelecida, é possível a análise dos cruzamentos entre os dois elementos, a partir da representação espacial da rede de estradas por meio de mapas.

O presente estudo tem por objetivo o mapeamento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica do Nordeste Paraense tendo como base uma imagem de alta resolução do satélite ALOS, sensor PRISM, bem como da malha viária da área desta bacia. A partir daí, como objetivo secundário, é derivado o segundo objetivo deste trabalho, que consiste na avaliação da fragmentação da rede hidrográfica, sob o ponto de vista da malha viária e dos cruzamentos entre esta e a rede hidrográfica.

1.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à mesobacia do alto Igarapé Peripindeua, localizada no nordeste do Estado do Pará e delimitada aproximadamente entre as latitudes $1^{\circ} 55' 44''$ S e $2^{\circ} 5' 10''$ S e entre as longitudes $47^{\circ} 29' 53''$ W e $47^{\circ} 19' 48''$ W, conforme mostra a Figura 1.

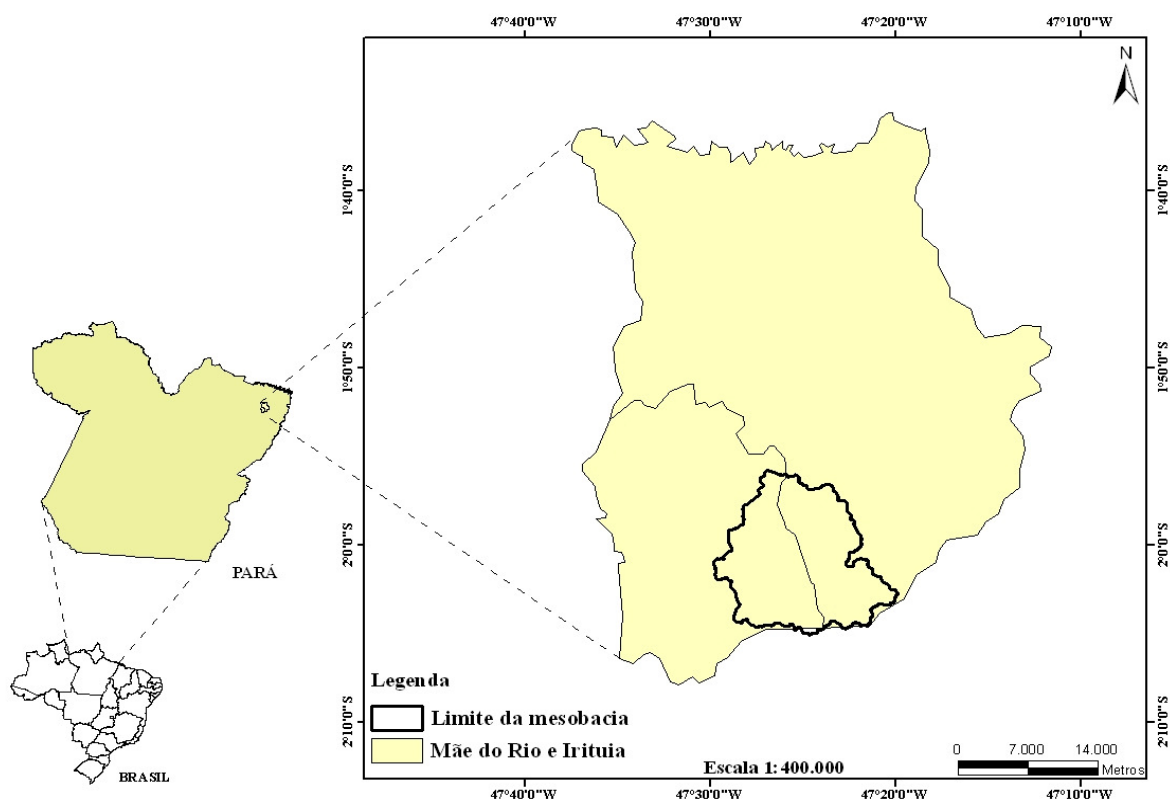


Figura 1. Mapa de localização da mesobacia de estudo, delimitada entre os municípios de Mãe do Rio e Irituia, região nordeste do Estado do Pará.

A mesobacia possui aproximadamente 15.000 hectares, localiza-se nos municípios de Mãe do Rio e Irituia e está na área de abrangência da microrregião Bragantina. A microrregião faz parte do bioma amazônico e se caracteriza por três categorias principais de uso e ocupação do solo: a formação vegetal de capoeiras, as terras de agricultura e as pastagens para criação de gado (Vieira et al., 2007). A colonização, juntamente com as pressões antrópicas, resultou em significativas mudanças na paisagem da microrregião,

sobretudo quando da construção e consolidação da estrada de ferro Belém-Bragança, contribuindo para o aparecimento de porções individualizadas de vegetação secundária e para a degradação dos recursos hídricos da região (Vieira et al., 2007; Watrin et al., 2009).

2. Métodos

A pesquisa realizou-se com base no Sistema de Informações Geográficas (SIG) construído para o projeto Gestabacias, liderado pela Embrapa Amazônia Oriental. Neste SIG estão incluídos os mapas de rede de drenagem derivados de imagens SRTM (com resolução de 90 metros) e de cartas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) (escala 1:100.000), assim como as imagens de alta resolução do satélite ALOS, sensor PRISM (com pixels equivalentes a 2,5 metros de lado). O SIG está implementado dentro do *software* ArcView 3.3 (ESRI, 1992), sendo viabilizados por intermédio deste *software* todos os demais procedimentos de criação e análise de dados. As imagens obtidas do satélite ALOS, de 29 de junho de 2009, tem o nível de processamento L1B2-G, com coordenadas na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23 S, Datum WGS 1984.

2.1 Mapeamento da rede hidrográfica da área de estudo

A geração do mapa de rede hidrográfica da mesobacia foi baseada em três fontes: (1) Rede de drenagem digitalizada a partir das já citadas cartas DSG, (2) Redes de drenagem obtidas a partir de imagens SRTM e análise através do *software* SWAT (Di Luzio et al., 2002), que possibilita a criação de uma rede de drenagem baseada exclusivamente em relevo; e (3) interpretação visual das imagens ALOS, digitalizando os trechos de canais visíveis em nível de zoom de 1:5.000.

2.2 Digitalização em tela da malha viária da área de estudo

A malha viária da mesobacia foi digitalizada em tela na escala de 1:5.000, interpretando diretamente as imagens de alta resolução (2,5 m) do satélite ALOS.

Para as estradas digitalizadas, criou-se uma classificação: (A) estradas externas (ramais principais) e (B) estradas internas (ramais derivados dos principais). Estas correspondem, respectivamente, às vias de maior circulação de pessoas e mercadorias e às vias de fluxo menos intenso, que permitem o acesso à propriedade ou a movimentação no interior desta.

2.3 Cálculo de índices de densidade de drenagem e densidade de estradas

A densidade da rede hidrográfica e da malha viária foi quantificada por meio dos índices de densidade de drenagem (DD) e densidade de estradas (DE), respectivamente. Os índices foram calculados pela equação: $D = L/A$, em que D representa o valor do índice de densidade, L, o comprimento total dos canais ou estradas existentes e A, a área da mesobacia. O resultado final foi representado em metros por hectare.

2.4 Levantamento de dados em campo

Durante a realização da pesquisa, foram feitas duas viagens à área de estudo, nos meses de julho e agosto de 2010. O objetivo das viagens a campo era confirmar o traçado das principais estradas já digitalizadas e identificar novos ramais não digitalizados, em razão de algumas dificuldades de visualização e interpretação de alguns ramais e estradas na imagem ALOS. Para esse fim, foi empregado o *software* TrackMaker 13.7 (Geo Studio Technology, 1998), que possibilitou a transferência dos dados do aparelho receptor de GPS (marca Garmin, modelo 76) usado em campo para o *software* ArcView.

No que se refere à rede de drenagem, as viagens permitiram a demarcação de pontos de cruzamento entre esta e a malha viária existente na mesobacia e, a partir dos dados gerados, foi possível espacializar a distribuição desses cruzamentos ao longo da área da bacia.

2.5 Produção de um mapa de cruzamentos da malha viária sobre a rede fluvial

O mapa de cruzamentos de estradas sobre igarapés foi gerado a partir da sobreposição entre a malha viária e a rede hidrográfica, destacando os cruzamentos verificados em campo. No mapa final, foram representados os cruzamentos mapeados em laboratório, pela intersecção da malha com a rede, e aqueles observados durante as viagens à área de estudo, adicionando-se cruzamentos observados em campo.

2.6 Cruzamentos de estradas sobre igarapés: quantificando e verificando em campo

A partir do mapa de cruzamentos da malha viária sobre a rede fluvial foi possível quantificar e analisar três categorias de cruzamentos: os observados em campo, subdivididos em mapeados ou não mapeados em laboratório, e os cruzamentos mapeados em laboratório que não foram verificados em campo.

3. Resultados e Discussão

A partir da metodologia descrita acima, analisou-se o processo de fragmentação da rede hidrográfica da mesobacia do alto Igarapé Peripindeua, tendo como base o mapa de cruzamentos da malha viária sobre a rede fluvial e a posterior caracterização das estruturas de cruzamento, com seus respectivos alagados, e cálculo dos índices que medem a densidade de drenagem e de estradas.

3.1 Mapeamento dos cruzamentos da malha viária sobre a rede fluvial

O mapa com a representação da malha viária e da rede hidrográfica em sua forma final é apresentado na Figura 2. A Figura destaca os tipos de cruzamentos entre estes dois elementos, a partir da sobreposição da malha sobre a rede.

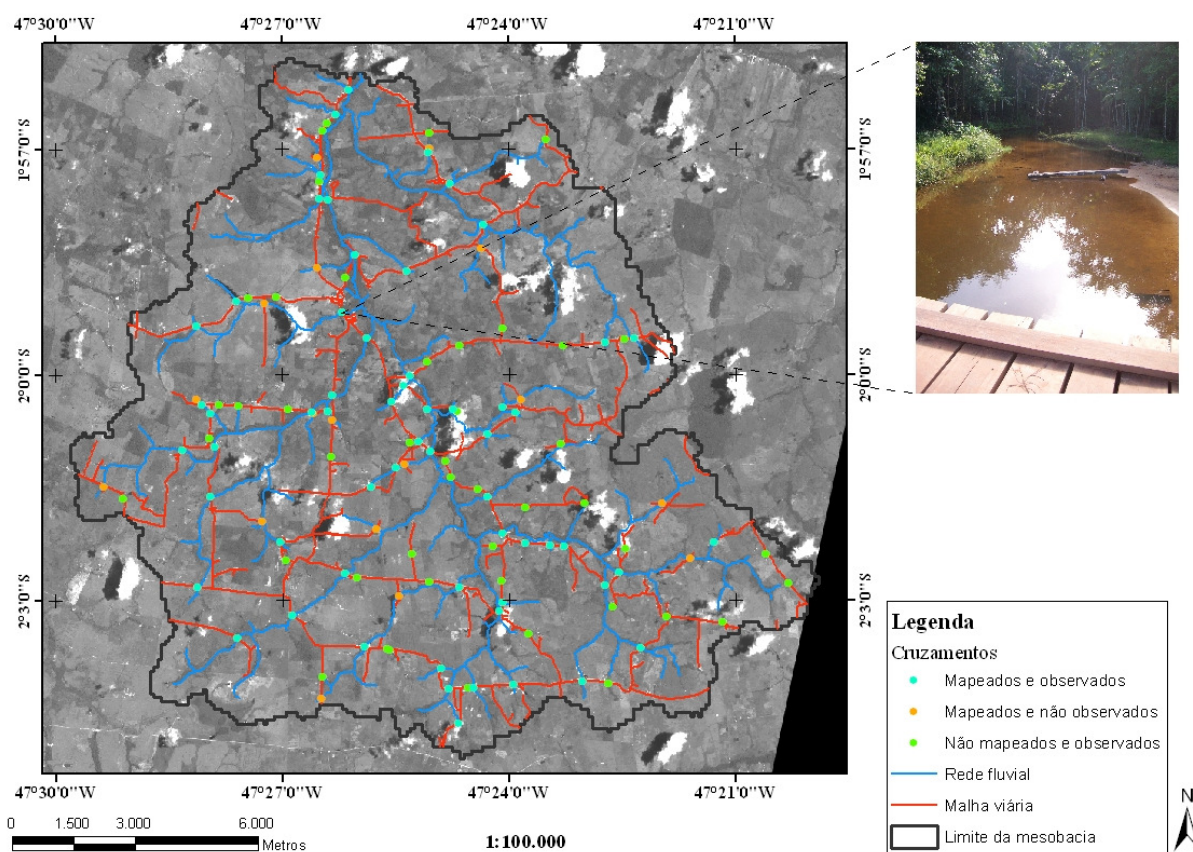


Figura 2. Mapa de cruzamentos da malha viária sobre a rede fluvial, com destaque para o cruzamento tipo ponte de madeira sobre o Igarapé Santa Ana.

3.2 Quantificação e análise dos cruzamentos de estradas sobre igarapés

Como descreve o mapa de cruzamentos mostrado no item anterior, foram analisadas três categorias de cruzamentos das estradas sobre os igarapés da mesobacia: (1) Cruzamentos mapeados em laboratório - definidos pelos pontos de intersecção hipotética entre a malha e a rede - e visitados em campo (2) Cruzamentos mapeados em laboratório e não visitados em campo e (3) Cruzamentos não mapeados em laboratório e visitados em campo, conforme esclarece a Tabela 1.

Tabela 1. Quantificação do número de cruzamentos da malha viária sobre a rede fluvial, considerando pontos mapeados em laboratório e observados em campo.

Cruzamentos		Observados em campo	
		Sim	Não
Mapeados em laboratório	Sim	60	18
	Não	45	-

De acordo com os dados da Tabela, pode-se verificar que dos 78 cruzamentos mapeados em laboratório, 18 não obtiveram verificação em campo, em razão da "expansão" da rede fluvial da mesobacia (isto é, a extensão de canais modelada pelo SWAT foi maior do que a observada em campo). De modo análogo, dos 105 cruzamentos observados em campo, 45 não constaram no mapeamento realizado em laboratório, o que se deve à "retração" da rede fluvial

modelada em muitos trechos da área de estudo. Os processos de retração e expansão da rede podem ser visualizados na Figura 3.

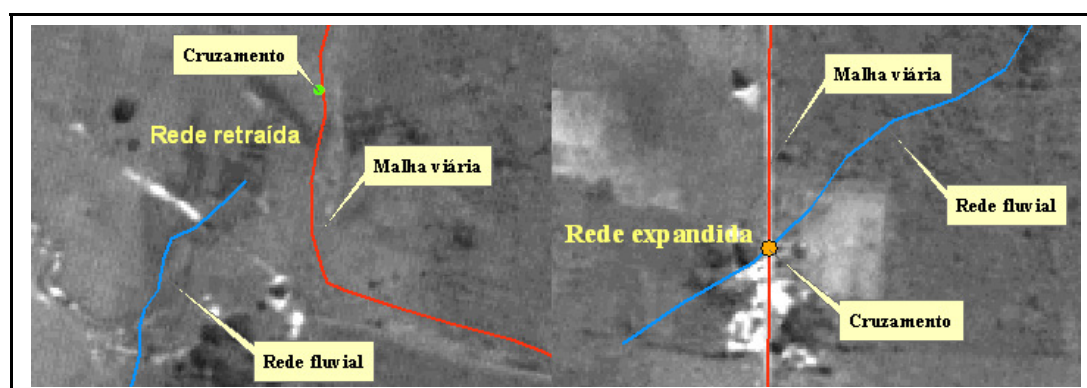


Figura 3. Figura exemplificando, à esquerda, um cruzamento não mapeado em laboratório e observado em campo (retração da rede fluvial modelada) e, à direita, um cruzamento mapeado em laboratório e não verificado em campo (expansão da rede fluvial modelada pelo SWAT).

As discrepâncias entre o número de cruzamentos hipotéticos e o número observado em campo devem-se à retração e expansão da rede hidrográfica, como observado acima, e à própria dinâmica de trabalho em campo, principalmente pelo fato de que alguns ramais (cerca de 5% do total mapeado) da malha viária não terem sido percorridos. Uma parcela significativa dos casos de retração da rede deve-se à intersecção da malha viária sobre pequenas nascentes, que drenam pequenas bacias hidrográficas. Por características inerentes ao modelo gerado pelo SWAT (área total da mesobacia modelada e resolução espacial do modelo digital de elevação do terreno, com pixels de 90 metros), não é possível delimitar bacias menores que um determinado limiar fixado pelo software. Neste caso, este limiar inferior foi da ordem de 100 hectares.

Em relação à natureza dos cruzamentos observados em campo, foi possível verificar que dos 105 cruzamentos visitados, 72 apresentavam pelo menos alguma extensão de alagamento à montante da estrada, indicando constrição do fluxo do canal, e represamento de água (aumento do tempo de residência da água neste trecho do sistema fluvial). Nestes cruzamentos, 27 contavam com pontes de madeira complexas como estrutura de transposição da malha viária sobre a rede fluvial, presentes nos igarapés de maior porte. Já nos igarapés de menor porte, 30 apresentavam manilhas de concreto e em 22 o cruzamento foi realizado com um grande tronco cujo interior era oco. Em outros 18 não foi possível observar a forma de cruzamento da malha sobre a rede. Foram registrados ainda 1 cruzamento com manilha de tronco e concreto e 7 cruzamentos diretos, isto é, sem estruturas de transposição.

As pontes de madeira, em geral, fazem a transposição da malha viária sobre a rede fluvial em igarapés de maior ordem, necessitando de uma estrutura mais planejada. Dessa forma, esse tipo de cruzamento não forma grandes alagados, pela própria escolha técnica de efetuar esses cruzamentos em locais onde os vales fluviais são mais estreitos. Em contrapartida, a manilha de concreto, como ilustra a Figura 4, representa uma estrutura que determina, muitas vezes alagamentos de grande porte, maiores que aqueles registrados nos cruzamentos com manilha de tronco.



Figura 4. Exemplo de um cruzamento estrada sobre igarapé, com manilha de concreto como estrutura de transposição.

3.3 Índices de densidade de estradas e densidade de drenagem

A Tabela 2 apresenta os valores dos índices de densidade de drenagem (DD) e densidade de estradas (DE) para a mesobacia do Igarapé Peripindeua.

Tabela 2. Índices de densidade de drenagem e de estradas para a mesobacia de estudo, destacando o número de cruzamentos de estradas sobre igarapés

Mesobacia	DD (m/ha)	DE (m/ha)
Igarapé Peripindeua	9,73	10,64

Considerando o índice de densidade de drenagem calculado, a mesobacia pode ser considerada como uma bacia de média densidade de drenagem, na medida em que o valor do índice encontra-se entre 7,5 m/ha e 15 m/ha (Scariot, 2008). Este é apenas um valor de referência, uma vez que a própria extensão real da rede de drenagem sofre diversos problemas de mapeamento, como observados pelo nosso estudo. Além disso, considera-se a sazonalidade, que na região é relativamente pronunciada, com estação seca bem marcada. O estudo foi conduzido nesta estação e, provavelmente, parte da rede fluvial encontrava-se "retraída", isto é, com as nascentes deslocadas para a jusante. O mau uso do solo e a má conservação da vegetação nativa no entorno de nascentes agrava este problema, pouco noticiado pela comunidade científica: o desaparecimento de pequenos rios de cabeceira (v. Faria e Marques, 1999).

4. Conclusões

O mapeamento de uma rede hidrográfica em escala de detalhe pode ser tarefa complexa, mesmo dispondo de recursos relativamente detalhados para esta tarefa. A discrepância entre uma base de dados de resolução espacial grosseira (SRTM, com 90 metros) e outra de alta resolução (ALOS-Prism, com 2,5 metros), determinou parte das divergências entre os cruzamentos mapeados e aqueles observados. Todavia, o método aqui empregado é eficiente no sentido de verificar a extensão da rede de drenagem, em que pesem outros fatores como sazonalidade e tipo de cobertura do solo, entre outros fatores.

O conflito existente entre a necessidade de implementar uma malha viária em dada região e transpor pequenos e grandes canais fluviais é bem representado na região estudada. São verificadas desde estruturas relativamente complexas e planejadas, até aquelas improvisadas

(troncos ocios) ou inexistentes (cruzamentos diretos). Cada cruzamento é uma área potencial de fragmentação da paisagem, especialmente da paisagem fluvial (cf. Wiens, 2002). Deste ponto de vista, a biota aquática pode ser potencialmente afetada pelo cruzamento, diretamente, ou pelos alagamentos formados à montante dos mesmos. No outro extremo, países da América do Norte já levam em consideração diversos elementos para minimizar estes impactos (v. River and Stream Continuity Project, 2010, por exemplo). No Brasil, este tipo de abordagem permanece largamente ignorada.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro prestado ao projeto (processo 574.648/2008-9, edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio/CT-Hidro nº 27/2008). A Embrapa Amazônia Oriental disponibilizou veículos e a infraestrutura para o desenvolvimento das pesquisas em campo e em laboratório.

Referências bibliográficas

Batista de Lima, D. F.; et al. O uso do geoprocessamento no diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio Taquari/RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais XIV**. São José dos Campos: INPE, 2009.

Di Luzio, M.; Srinivasan, R.; Arnold, J.G.; Neitsch, S.L. **ArcView interface for SWAT 2000: User's guide**. Temple, 2002. 345 p.

Faria, A.P.; Marques, J.S. O desaparecimento de pequenos rios brasileiros. **Ciência Hoje**, v. 25, n. 146, p. 57-61, 1999.

Moldan, B.; Cerný, J. (Eds.) **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. Chichester, John Wiley & Sons. 1994. 419 p.

River and Stream Continuity Project. **Stream crossings handbook**. Disponível em http://www.streamcontinuity.org/pdf_files/stream_crossings_handbook.pdf. Acesso em 18.nov.2010.

Vieira, I.C.G.; Toledo, P.M. de; Almeida, A. Análise das modificações da paisagem da Região Bragantina, no Pará. Integrando diferentes escalas de tempo. **Revista Ciência e Cultura**, v. 59, p. 27-30, 2007.

Scariot, E. C. Caracterização ambiental de uma fazenda produtora de madeira em Rio Negrinho, SC: subsídios para a restauração ambiental. 2008. 103 p. Dissertação (Mestre em Ciências, Área de Concentração em Recursos Genéticos Vegetais – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

Watrin, O. S.; Gehard, P.; Maciel, M. N. M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no nordeste do estado do Pará. **Geografia**, v. 34, n. 3, p. 455-472, 2009.

Wiens, J. A. Riverine landscapes: taking landscape into the water. **Freshwater Biology**, v. 47, p. 501-515, 2002.