

## **Análise da Sustentabilidade de Sistemas Florestais à Escala da Paisagem**

**João Azevedo<sup>1</sup>, X. Ben Wu<sup>2</sup>, Mike G. Messina<sup>3</sup>, Richard F. Fisher<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigação de Montanha e Departamento Florestal, Escola Superior Agrária de Bragança, Apartado 172, 5301-854 Bragança, PORTUGAL

<sup>2</sup>Department of Rangeland Ecology & Management, Texas A&M University, College Station, TX 77843-2126, EUA

<sup>3</sup>Department of Forest Science, Texas A&M University, College Station, TX 77843-2135, EUA

<sup>4</sup>Temple-Inland, P.O. Drawer N or 303 S. Temple Dr., Diboll, TX 75941, EUA

**Resumo.** Neste trabalho apresentamos uma metodologia para a análise da sustentabilidade em paisagens florestais. Tomando como base os critérios e indicadores habituais em programas de sustentabilidade, designadamente dos processos de Montreal e Helsínquia, associaram-se uma série de modelos de várias origens e estruturas no sentido de simular os efeitos da implementação de medidas de gestão sustentável na estrutura e funcionamento da paisagem.

Esta metodologia tem por base um modelo de ordenamento de unidades de gestão florestal que permite definir sequências de corte de forma espacialmente explícita de acordo com regras de gestão dos povoamentos e da paisagem. Informação relativa a atributos estruturais particulares dos povoamentos é fornecida por modelos de crescimento ajustados a condições particulares de composição, idade e produtividade locais. A integração desta informação num sistema de informação geográfica permite conhecer ao nível da paisagem as distribuições espaciais dos atributos relevantes para a modelação dos parâmetros relacionados com os critérios em consideração: conservação da biodiversidade, do solo e da água. A biodiversidade é avaliada com base em modelos de habitats de espécies seleccionadas. Erosão e escoamento ao nível de bacias de diferentes ordens são modelados a partir de um modelo hidrológico.

### **Introdução**

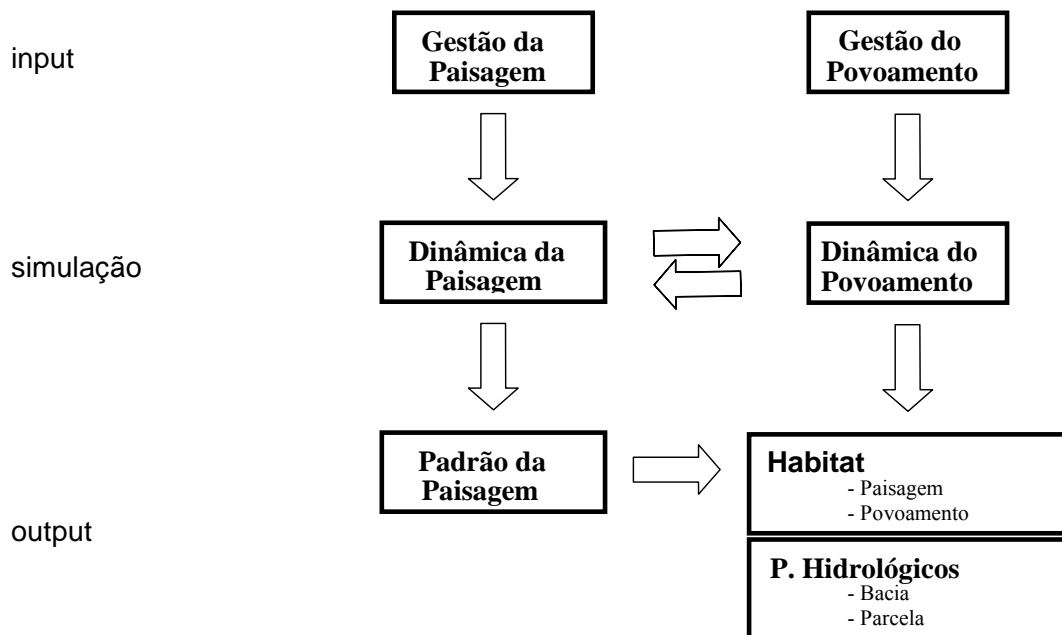
A sustentabilidade de sistemas florestais tem vindo a ser adoptada como filosofia de gestão florestal por parte de governos e de empresas privadas. Diversos princípios e práticas de sustentabilidade têm vindo a ser seguidos no ordenamento e gestão de áreas florestais, incluindo um conjunto de medidas consideradas à escala da paisagem, uma das escalas essenciais à abordagem da sustentabilidade em sistemas florestais. Exemplos deste tipo de medidas incluem a imposição de limites nas dimensões das unidades de gestão, a imposição de regras de adjacência, o estabelecimento de corredores de fauna e a manutenção de zonas tampão ao longo de linhas de água. Estas medidas podem afectar a estrutura e o funcionamento de paisagens florestais o que se encontra actualmente insuficientemente estudado.

Neste trabalho desenvolvemos uma metodologia para avaliar a sustentabilidade de sistemas florestais baseada em modelação e simulação da estrutura da paisagem e de processos físicos e biológicos que ocorrem a esta escala. Esta metodologia utiliza modelos disponíveis e testados, destinando-se a servir de ferramenta de análise e apoio à tomada de decisão relativamente a medidas de ordenamento e gestão florestal, particularmente de medidas de gestão sustentável. Habitats de vertebrados e processos hidrológicos foram usados como elementos chave do funcionamento da paisagem sendo relacionados com a estrutura da paisagem e dos povoamentos florestais. A utilização da metodologia é exemplificada com o caso do Sustainable Forestry Initiative (SFI), o programa de gestão sustentável da indústria florestal nos EUA.

## Metodologia

### Abordagem, critérios e indicadores de sustentabilidade

Este trabalho foi realizado com base em modelação e simulação, recurso habitual em estudos conduzidos à escala da paisagem pela impossibilidade de realizar trabalho experimental a esta escala (Turner 1989) e pela necessidade de obtenção de resultados para orientação da gestão florestal e ambiental. A metodologia descrita envolve um modelo de paisagem e vários modelos à escala do povoamento para simular simultaneamente dinâmica da paisagem e dos povoamentos em função das condições iniciais e das práticas de gestão testadas. A qualidade e o padrão espacial do habitat de vertebrados assim como processos hidrológicos são avaliados a ambas as escalas referidas (Figura 1).



**Figura 1** - Representação dos componentes da metodologia e suas relações. A dinâmica da paisagem e dos povoamentos é simulada a partir de inputs definidos pelas práticas de gestão ao nível da paisagem e do povoamento. A estrutura da paisagem e dos povoamentos fornecem informação para a a simulação de processos hidrológicos e na análise de habitats da fauna a estas duas escalas

Consideraram-se como critérios de sustentabilidade florestal a conservação da água, do solo e da biodiversidade. Os critérios físicos correspondem ao critério 5 do Processo de Helsínquia (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe 2003) e ao critério 4 do Processo de Montréal (Montréal Process Working Group 1999). Biodiversidade corresponde grosso modo ao critérios 4 e 1 dos Processos de Helsínquia e de Montréal, respectivamente. Como indicadores considerou-se a perda de solo, escoamento e a abundância, qualidade e configuração de habitats de vertebrados.

### Componentes

#### *Nível da Paisagem*

Para simular a implementação de medidas de gestão na estrutura da paisagem utilizou-se o modelo HARVEST 6.0 (Gustafson & Rasmussen 2002). Trata-se de um modelo matricial desenvolvido para simular implicações espaciais de sistemas de silvicultura regulares e irregulares. Tem tido aplicação extensiva na análise de padrões espaciais e na forma como a gestão florestal os influencia (Gustafson and Crow 1998, Gustafson & Rasmussen 2002).

Considera parâmetros como a dimensão das unidades de gestão, a área de corte, a revolução e a duração de período de retenção de povoamentos em idade de corte adjacentes a povoamentos abatidos, entre outros (Gustafson & Crow 1999). Como inputs requer mapas de povoamentos, de zonas de gestão, de tipos de floresta e da idade dos povoamentos e produz mapas de idade dos povoamentos ao longo do período de simulações estipulado.

#### *Nível do Povoamento*

Atributos à escala do povoamento foram simulados através de modelos de crescimento e produção. Diferentes modelos podem ser seleccionados de forma a reflectirem a realidade ecológica e silvícola de cada região. Para o âmbito geográfico deste trabalho seleccionaram-se os seguintes modelos:

- Compute P-Lob (Baldwin and Feduccia 1987): plantações de *Pinus taeda* L.
- SouthPro (Schulte et al. 1998): povoamentos irregulares de *Pinus taeda* e de folhosas
- Forest Vegetation Simulator (FVS) (Donnelly et al. 2001): povoamentos de folhosas regulares

#### *Habitats*

A qualidade do habitat foi avaliada ao nível do povoamento e da paisagem com base nos modelos de Habitat Suitability Index (HSI) (Schamberger et al. 1982). Estes modelos oferecem uma forma expedita e estandardizada de quantificação da qualidade do habitat numa escala de 0 a 1 assumindo uma relação directa com a capacidade de carga. HSI é calculado com base em relações quantitativas entre qualidade e componentes mensuráveis do habitat, geralmente estruturais. O padrão espacial das áreas de habitat foi analisado com base em variáveis de paisagem quantificadas pelo programa FRAGSTATS (McGarigal and Marks 1995), versão 3.3.

#### *Processos hidrológicos*

Utilizou-se o modelo APEX (Agricultural Policy/Environmental eXtender), versão 1310 (Williams et al. 2000), para modelar e simular processos hidrológicos, nomeadamente escoamento e erosão. APEX é um modelo mecanístico que combina o modelo EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) (Williams, 1995) concebido à escala da parcela homogénea com capacidades de “routing” tornando possível a simulação de processos à escala da bacia.

## **Aplicação**

#### *Área de estudo*

A metodologia foi aplicada numa área de 5773 ha situada em Angelina County, Texas, USA. A altitude varia entre os 41 e os 113 m. A precipitação média anual é de 1054 mm e a temperatura média anual de 19.4 C. O relevo é suave sendo o declive médio de 2%, máximo. Os solos são maioritariamente Alfisols das séries Diboll e Alazan e Ustisols da série Rosenwall (NRCS Soil Classification System). A maior parte desta área é propriedade de Temple-Inland Forest Products Corporation, Diboll, Texas, e gerida de forma intensiva.

#### *Modelação e simulação*

##### *Nível da Paisagem*

Foram estabelecidos 2 cenários para comparar a implementação de medidas do Sustainable Forestry Initiative (SFI), o programa de sustentabilidade da indústria florestal norte americana. No cenário SFI foram simuladas as seguintes medidas:

- Limites na dimensão de cortes rasos:

- *Pinus taeda*: 49 ha
- Folhosas: 12 ha
- Buffers (SMZs): com pelo menos 30 m de largura ao longo de cursos de água perenes ou intermitentes
- Adjacência: unidades de gestão devem ter 3 anos de idade antes de áreas adjacentes serem abatidas.

O cenário Non-SFI foi criado pela simplificação da informação geográfica de base para simular as condições da gestão florestal anterior à implementação do SFI pela indústria florestal. O modelo HARVEST simulou a dinâmica da paisagem nestes dois cenários para um período de 400 anos sendo o processo repetido 5 vezes.

#### *Nível do Povoamento*

Simulou-se a dinâmica dos povoamentos com base num conjunto de critérios e parâmetros de silvicultura desenvolvidos em Azevedo et al. (2005a). Os tipos de gestão considerados nos cenários anteriormente apresentados foram, no cenário SFI 1) corte raso-resinosas; 2) corte raso-folhosas; 3) cortes salteados-resinosas; 4) cortes salteados-folhosas; 5) cortes salteados-mistos e no caso do cenário Non-SFI 1) corte raso-resinosas; 2) corte raso-folhosas; 3) cortes salteados-resinosas.

#### *Habitats*

A título meramente exemplificativo foi utilizado o modelo de HSI de *Dendroica pinus* (Schroeder 1982). Esta espécie encontra-se associada a povoamentos maduros de *Pinus taeda* e a sua utilização neste trabalho permite discutir alguns aspectos ligados à sensibilidade de espécies a áreas mínimas e bordaduras em paisagens florestais.

A qualidade do habitat ao nível do povoamento foi estimada por

$$HSI = (SIV1 * SIV2 * SIV3)^{1/2}$$

em que *SIV1*, *SIV2*, e *SIV3* são índices de qualidade relacionados com as variáveis V1 (percentagem de coberto das copas das árvores dominantes), V2 (estado sucessional do povoamento) e V3 (percentagem de árvores dominantes com sobcoberto de folhosas no terço superior). Estas variáveis foram quantificadas a partir de outputs dos modelos de crescimento e produção. À escala da paisagem a qualidade total do habitat foi obtida pela média da qualidade (HSI) à escala do povoamento, ponderada pela área dos povoamentos. A cartografia das áreas de habitat da espécie permitiu a análise do seu padrão espacial.

#### *Processos Hidrológicos*

Uma pequena bacia da área de estudo com 78 ha foi seleccionada para exemplificar a modelação e simulação de escoamento e erosão. Os solos nesta área são exclusivamente Alfisols das séries Diboll e Alazan. O declive é suave sendo em média 1.5% com máximo de 3%.

A aplicação do modelo APEX compreendeu a discretização da bacia em sub-áreas, a definição de calendários de operações de acordo composição e tipo de gestão, a criação de ficheiros de parâmetros particulares incluindo parâmetros relativos aos solos e clima. Os procedimentos deste componente do trabalho encontram-se descritos em detalhe em Azevedo et al. (2005a; 2005b).

## **Resultados e discussão**

As simulações da estrutura da paisagem em HARVEST produziram um padrão regular com ciclos de 30 anos em ambos os cenários, acompanhando assim o período de rotação dos

povoamentos de *Pinus taeda*, dominantes na área de estudo. Dada a referida regularidade, todos os resultados apresentados dizem respeito a um desses ciclos .

#### *Habitat de Dendroica pinus*

A qualidade global do habitat foi superior no cenário Non-SFI, variando de 0.17 a 0.28, enquanto no cenário SFI variou de 0.15 a 0.23. As diferenças foram estatisticamente significativas dada a pequena variabilidade entre repetições dentro do mesmo cenário e foram atribuídas às alterações das proporções de tipos de floresta e de gestão na área, particularmente de áreas de *Pinus taeda* geridas por corte raso, superiores em 20% no cenário SFI relativamente ao cenário Non-SFI.

Em termos de configuração do habitat observaram-se diferenças apreciáveis entre os cenários (Tabela 1; Figura2). O cenário SFI apresentava, relativamente ao cenário Non-SFI, muitas mais manchas de menor dimensão do habitat de melhor qualidade ( $0.5 < HSI < 0.75$ ). No cenário Non-SFI este habitat encontrava-se mais agregado sendo as manchas de habitat mais distanciadas umas das outras. Observou-se maior abundância de orlas em SFI, cenário em que também existiam mais áreas centrais (“core areas”) simultaneamente de menor dimensão média.

**Tabela 1** – Variáveis de paisagem seleccionadas para descrever a classe 3 do habitat de Pine warbler ( $0.5 < HSI < 0.75$ ). Os valores apresentados são médias para 3 simulações e 15 datas de observação

Variável	Classe 3	
	SFI	Non-SFI
Percentagem da Paisagem (%)	25.8	32.9
Densidade de Manchas (#/100 ha)	1.3	0.4
Densidade de orlas (m/ha)	37.4	19.7
Índice Maior Mancha (%)	2.9	13.7
Índice de Forma da Paisagem	15.0	7.5
Área Média da Mancha (ha)	20.8	89.3
Índice da Dimensão Fractal Média	1.10	1.09
Percentagem de Áreas Centrais na Paisagem (%)	4.8	17.3
Área Central Média (ha)	3.9	47.0
Índice de Proximidade Média	334.1	447.0
Distância Média ao Vizinho Mais Próximo (m)	80.6	212.2

Variáveis calculadas com FRAGSTATS (McGarigal and Marks 1995)

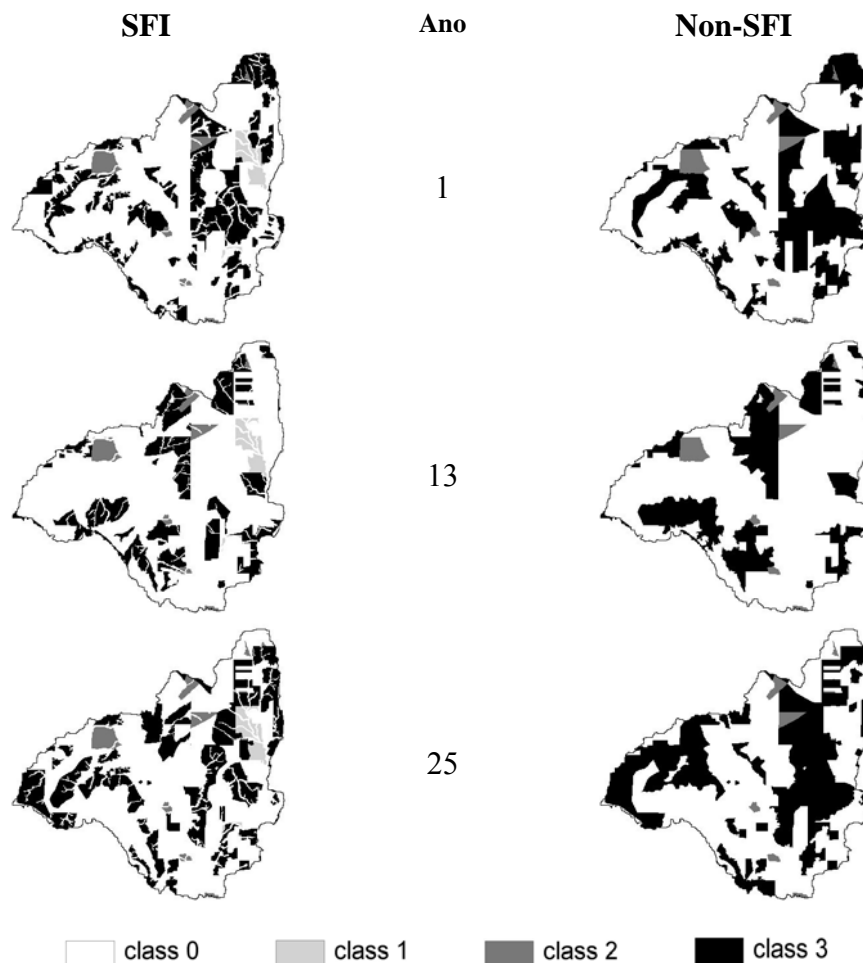
As diferenças observadas sugerem a existência de fragmentação deste habitat no cenário SFI, o que não se verifica em Non-SFI. Embora as limitações em área das unidades de gestão e a aplicação da regra de adjacência tenham contribuído para esta fragmentação, ela foi devida sobretudo à instalação e manutenção de faixas tampão nas linhas de água. A resposta de *Dendroica pinus* a esta fragmentação do habitat depende em grande medida da sua sensibilidade à dimensão das unidades de habitat e a orlas.

A partir da informação disponível na literatura não é claro se a espécie é sensível à dimensão das manchas de habitat, sendo em algumas regiões considerada sensível requerendo entre 10 a 30 ha de habitat, enquanto noutras é considerada não sensível. Assumindo que a espécie requer pelo menos 10 ha de habitat contínuos, mais de 87% da área de habitat no cenário SFI pode ser considerada adequada para a espécie. No caso de requer 30 ha, mais de 60% do habitat é adequado para a espécie.

A literatura é também inconclusiva em relação à sensibilidade da espécie a orlas, sendo considerada tanto espécie de interior como de orla. As implicações desta sensibilidade podem ser, contudo, muito significativas em termos da disponibilidade de habitat para a espécie, mais drásticas no cenário SFI dada a estrutura do habitat nele observada. Considerando, por exemplo, que a espécie é sensível a uma orla de 100 m e a uma área de 10

ha, só 5% da área do melhor habitat em SFI seria adequada para a espécie sendo esta área nula no caso da espécie requer 30 ha de área mínima.

Muita da redução na dimensão das manchas de habitat em SFI resultaram da divisão de áreas contínuas pelos buffers ripícolas. É provável, no entanto, que as manchas de habitat de *Dendroica pinus* separadas por estas faixas estreitas (~50 m) compostas por floresta de forma permanente, mantenham elevada conectividade sendo a fragmentação do habitat para a espécie provavelmente apenas aparente. Da mesma forma, a elevada densidade de bordaduras causada pelas faixas ripícolas pode não ter necessariamente um efeito negativo na qualidade do habitat da espécie neste cenário. Neste contexto, a estrutura do habitat no cenário SFI pode ser considerada semelhante à do cenário Non-SFI.



**Figura 2** – Distribuição de classes de habitat de *Dendroica pinus* de acordo como o modelo HSI de Schroeder (1982) em três datas do período de simulações para os cenários SFI e Non-SFI. Classe 0:  $HSI=0$ ; Classe 1:  $0 < HSI < 0.25$ ; Classe 2:  $0.25 < HSI < 0.50$ ; Classe 3:  $0.5 < HSI < 0.75$

#### *Escoamento e Produção de Sedimentos*

Embora não se observassem diferenças na produção de sedimentos à escala da sub-área (YS) entre cenários, à escala da bacia a produção (YW) foi consideravelmente mais elevada no cenário SFI (Tabela 2). As diferenças resultaram dos processos de “routing” simulados, concretamente da degradação do canal durante chuvadas de intensidade elevada. Observou-se deposição de sedimentos embora esta tenha sido idêntica nos dois cenários. Os baixos valores de deposição obtidos devem-se à baixa taxa de perda de solo ocorrida nesta

bacia. Consideramos que a presença de buffers ripícolas foi responsável pela redução de degradação do canal no cenário SFI pelo efeito da redução do escoamento.

**Tabela 2** - Precipitação média anual, escoamento e produção de sedimento em três simulações na bacia de estudo

Simulação	Precipitação (mm)	QSS (mm)	QSW (mm)	QTS (mm)	QTW (mm)	YS (t/ha)	YW (t/ha)
<b>SFI</b>							
1	1093.9	20.70	20.59	26.48	26.34	0.02	0.04
2	1056	16.02	15.92	19.57	19.44	0.02	0.04
3	1074.2	18.75	18.64	23.39	23.25	0.02	0.03
Média	1074.7	18.49	18.38	23.15	23.01	0.02	0.04
<b>Non-SFI</b>							
1	1093.9	23.56	23.56	28.95	28.94	0.02	0.07
2	1056	18.36	18.36	22.16	22.15	0.02	0.06
3	1074.2	21.40	21.40	25.84	25.82	0.01	0.06
Média	1074.7	21.11	21.11	25.65	25.64	0.02	0.06

QSS- escoamento superficial médio por sub-área; QSW- escoamento superficial médio na bacia; QTS- escoamento médio por sub-área; QTW- Escoamento médio na bacia; YS- produção média de sedimento por sub-área; YW- produção média de sedimento na bacia

## Considerações finais

Os resultados da aplicação da metodologia a uma região do Leste do Texas indicam que a implementação das medidas do programa SFI afectam o habitat de *Dendroica pinus* e a produção de sedimentos à escala da bacia. Observa-se um acréscimo de fragmentação do habitat mais valioso da espécie na área gerida de acordo com o programa SFI, reflectido por um aumento no número de manchas e extensão de orlas e um decréscimo na dimensão das manchas, dimensão de áreas centrais e total área central na paisagem. Considerando, no entanto, a composição e o carácter permanente do buffers ripícolas, responsáveis principais por esta fragmentação, o contexto florestal das áreas de habitat de qualidade e o comportamento da espécie, é improvável que as populações de *Dendroica pinus* sejam afectadas por este tipo de fragmentação. Esta conclusão é aplicável somente a esta espécie particular uma vez que outras espécies reagirão de forma diferente às alterações na estrutura da paisagem.

Os dois cenários revelaram semelhantes valores de escoamento e produção de sedimentos à escala da sub-área embora à escala da paisagem a produção de sedimentos tenha sido consideravelmente maior no cenário Non-SFI devido a superior degradação do canal. A baixa produção de sedimentos no cenário SFI foi atribuída à presença de faixas tampão ripícolas utilizadas no programa SFI.

A metodologia aqui descrita constitui uma ferramenta útil na comparação dos efeitos de medidas de gestão florestal na estrutura e em processos que ocorrem à escala da paisagem. Esta metodologia é simples de implementar, baseia-se em modelos simples que necessitam de inputs mínimos e fornece resultados úteis na comparação de alternativas de gestão. Por outro lado, e uma vez que fornece dados sobre processos, permite relacionar estrutura com função ao nível da paisagem. Finalmente, esta metodologia possui elevado potencial pelo facto de ser uma metodologia aberta ao permitir que outros modelos possam nela ser integrados para avaliar componentes aqui não incluídos tal como económicos, estéticos, ambientais e outros. Permite também a sua adaptação a condições locais pela selecção de modelos que descrevam melhor as condições ambientais e da silvicultura de cada região.

## Referências

- Azevedo, J.C., X.B. Wu, M.G. Messina & R.F. Fisher. 2005a. Assessment of Sustainability in Intensively Managed Forested Landscapes: A Case Study in East Texas. *Forest Science*. Em publicação.
- Azevedo, J.C., J.R. Williams, M.G. Messina & R.F. Fisher. 2005b. Impacts of the Sustainable Forestry Initiative Landscape Level Measures on Hydrological Processes. *Water Resources Management*. Em publicação.
- Baldwin, V.C. & D.P. Feduccia. 1987. Loblolly pine growth yield prediction for managed west gulf plantations. *USDA For. Serv. Res. Pap. SO-236*. 27p.
- Donnelly, D., B. Lilly, & E. Smith. 2001. The Southern Variant of the Forest Vegetation Simulator. Forest Management Service Center. Fort Collins, CO. 61 p.
- Gustafson, E.J. & T.R. Crow. 1999. HARVEST: linking timber harvesting strategies to landscape patterns. P. 309-332 *in* Spatial modeling of forest landscape change: approaches and applications, Mladenoff, D.J. & W.L. Baker (eds.). Cambridge University Press, New York.
- Gustafson, E.J. & T.R. Crow. 1998. Simulating spatial and temporal context of forest management using hypothetical landscapes. *Environ. Manage.* 22(5):777-787.
- Gustafson, E.J. & L.V. Rasmussen. 2002. Assessing the spatial implications of interactions among strategic forest management options using a Windows-based harvest simulator. *Comput. Electron. Agric.* 33(3):179-196.
- McGarigal, K. & B.J. Marks. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351*. 122 p.
- Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. 2003. Background information for improved pan-european indicators for sustainable forest management. Vienna, Austria. 45 p. [<http://www.lu-vienna.at/livingforests/submit/secure/k-tools/phplib/MedienDatenbankView.inc.php?id=123>]
- Montréal Process Working Group. 1999. Criteria and Indicators for the Conservation and Sustainable Management of Temperate and Boreal Forests. The Montréal Process. 2nd Ed., December 1999. [[http://www.mpci.org/rep-pub/1999/ci\\_e.html](http://www.mpci.org/rep-pub/1999/ci_e.html)]
- Schamberger, M., A.H. Farmer, and J.W. Terrell. 1982. Habitat suitability index models: introduction. *USDI Fish and Wildl. Serv. FWS/OBS-82/10*. 2 p.
- Schroeder, R.L. 1982. Habitat suitability index models: pine warbler. *USDI Fish Wildl. Serv. FWS/OBS-82/10.28*. 8 p.
- Schulte, B.J., J. Buongiorno, C.R. Lin, & K. Skog. 1998. SouthPro: A computer program for managing uneven-aged loblolly pine stands. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. FPL-112*. 47 p.
- Turner, M.G. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20:171-197.
- Williams, J.R. 1995. The EPIC model. P. 909-1000 *in* Computer Models of Watershed Hydrology, V.P. Singh (ed.). Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO.
- Williams, J.R., J.G. Arnold, & R. Srinivasan. 2000. The APEX model. BRC Report No. 00-06. Texas Agricultural Experiment Station, Blackland Research Center, Temple, TX. 121 pp.