

**Estimativa da produtividade primária líquida de ecossistemas florestais a partir de um modelo biogeoquímico florestal associado a técnicas de sensoriamento remoto orbital.**

**Marcelo de Ávila Chaves**

Fundação do Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC  
Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Cx Postal 2306  
Belo Horizonte, MG  
Fax: (031) 486-1333 Fone: (031) 486-1000 Ramal 363

**João Viane Soares**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Cx Postal 515  
São José dos Campos, SP  
Fax: (0123) 21-9743 Fone: (0123) 41-8977 Ramal 525

**Abstract**

This work is intended to test and to evaluate how well a regional biogeochemical model is able to represent the major processes of the hydrologic and carbon cycles of forest ecosystems of coniferous, growing up in three different climatic areas in Brazil. The model, named FORECOS uses Leaf Area Index as the main input variable. LAI is generally accepted as being the most important variable characterizing the exchange of energy and mass in forest ecosystems. There is substantial work done showing that LAI can be estimated from remotely sensed data, on the basis of the correlation that exists between LAI and vegetation index, obtained by ratios between spectral bands. Simulation and sensitivity analysis on some critical parameters were used to test the suitability of the model to represent the processes described by the model. By using digital classification procedures, patterns of vegetation were identified that should correspond to variations on LAI values although measurements could not be taken at this step. The results that come out from the classification suggest that LAI values are homogeneous in all test sites. Then the use of a unique regional value within the simulations is felt to be valid. The results showed that the model was able to represent the relative differences for both the hydrologic and the carbon cycles, for the three sites chosen. Validation with measurements of some state variables and independent variables related to net primary production and hydrology could not be done at this step either, and is to be pursued as this research goes on.

## 1. Introdução

O rápido crescimento das intervenções antropogênicas em extensas áreas florestais, através dos processos de desmatamento, de queimada e de substituição da vegetação natural, tem chamado a atenção para os ecossistemas florestais. É preciso prever o efeito daquelas alterações nos ciclos hidrológico e de carbono associados aos ecossistemas. Para entender as complexas interações do sistema solo-água-planta-atmosfera, inerentes aos sistemas florestais, faz-se necessário elaborar, ajustar e validar modelos de ecossistemas, a partir dos quais simulações podem ser realizadas no sentido de prognosticar efeitos do impacto das atividades antropogênicas.

Diversos modelos, em diferentes escalas, descrevem alguns processos de interesse em ecossistemas florestais tais como o escoamento, a evapotranspiração e a produtividade primária líquida. Tais modelos quantificam taxas nas quais aqueles processos ocorrem e de que forma estas taxas são modificadas quando de alterações em sua cobertura vegetal. Em muitos casos, devido ao dinamismo com que mudanças ocorrem e a dificuldades de se estimar algumas variáveis e parâmetros do modelo, os prognósticos são pouco confiáveis.

As primeiras tentativas de modelagem dos processos de interesse na área florestal, para escalas regional e global, consideravam a paisagem extensa e a vegetação homogênea. Isto permitia a simplificação da modelagem e refletia a impossibilidade operacional de obtenção de informações sobre a heterogeneidade e a dinâmica inerentes a vegetação nessas escalas. O advento dos sensores remotos orbitais, contribuiu significativamente para a

melhoria da modelagem de ecossistemas florestais, por possibilitar a discriminação de classes de vegetação, em diferentes escalas, mediante observações sinópticas multiespectrais e repetitivas da paisagem.

Parâmetros estruturais de vegetação derivados de técnicas de sensoriamento remoto, SR, podem ser usados como variáveis de entrada em modelos de ecossistemas florestais regionais e globais. Dentre estes parâmetros enquadra-se o Índice de Área Foliar, IAF, considerado o mais importante na definição das trocas de energia e de massa que ocorrem nos dosséis florestais. Um modelo de ecossistemas florestais, com ênfase em processos biogeoquímicos, bastante robusto e suficientemente simples no que se refere ao número de parâmetros e de variáveis, foi proposto por Running e Coughlan (1988). Este modelo, conhecido como "Forest-BGC", estima o ciclo completo do carbono, da água e do nitrogênio a nível regional, para florestas de coníferas. O IAF, que pode ser obtido por sensoriamento remoto (SR), é o parâmetro descritor da estrutura da vegetação neste modelo. A viabilidade da utilização de SR para estimar IAF foi demonstrada por vários investigadores (Running et al. (1986); Badhwar et al. (1986); Badhwar (1986); Peterson et al. (1987); Nemani et Running (1989), e Curran et al. (1990)).

Este trabalho objetiva testar a adequabilidade de uma adaptação do "Forest-BGC" (Soares et al., 1989), para um ecossistema hipotético de coníferas, implementado sob três diferentes condições climáticas. O teste é realizado sem a preocupação de obter parâmetros e condições iniciais específicas de cada localidade ou espécie. O objetivo é verificar a performance do modelo na representação dos processos modelados, em cada área

de teste, para diferentes valores de IAF; identificar partes do modelo, parâmetros e condições iniciais que justifiquem sintonia fina e de avaliar a importância relativa dos fatores ambientais, na explicação da variabilidade nos ciclos de carbono e água prognosticadas pelo modelo. A descrição detalhada da adaptação do "Forest-BGC", denominada FORECOS, encontra-se em Chaves (1992).

## 2. Material e métodos

### 2.1. Localização e caracterização climática das áreas-teste

As áreas-teste escolhidas com suas respectivas coordenadas centrais estão localizadas nos municípios de Grão Mogol, MG (16°14' S, 42°37' W), Pinnus eliotti desde 1976; Mogi Guaçu, SP (22°18' S, 47°52' W), Pinnus spp, principalmente Pinnus eliotti plantados entre os anos de 1958 e 1966; e Passo Fundo, RS (28°19' S e 52°18' W), espécies de Araucária angustifolia de 05 a 43 anos de idade e Pinnus spp, de 05 a 33 anos de idade. Nestes três estados existe um número significativo de plantios de coníferas. Valores anuais das principais variáveis meteorológicas encontram-se na Tabela 1.

### 2.2. Simulação dos valores de Índice de Área Foliar

Realizou-se a simulação dos valores de índice de área foliar com valores presumíveis de ocorrência no mundo real (IAF= 3,4,...,14). Estes valores são realistas (Spanner et al. 1990) e a utilização de um único IAF por área-teste é justificada em Chaves (1992). As saídas anuais do modelo foram estão registradas graficamente para as três áreas-teste.

Para o início da simulação e dos testes de sensibilidade, foram levantadas as variáveis

meteorológicas primárias e estimaram-se ou mantiveram-se os valores de "default" das condições iniciais e dos parâmetros de entrada do modelo. Os valores de "default" foram extraídos do modelo Forest-BGC (Running and Coughlan, 1988). Adotou-se este procedimento para as três áreas de estudo utilizando-se como referência o ano de 1989.

Tabela 1. Valores médios anuais de Temperatura média do ar, Temperatura Máxima e Mínima Humidade relativa, Insolação, e Precipitação (obtidas a partir dos valores médios mensais)

Variáv	G Mog	M. Gua	P. Fun
T. Méd (°C)	23.7	20.3	17.0
T. Méd Máxi. (°C)	30.5	27.7	23.0
T. Méd Míni. (°C)	17.9	14.3	12.7
U.R. (%)	68	77	75
Insolação (h)	2253	2472	2449
Prec. (mm)	1039	1273	1814

### 2.2.1. Variáveis forçantes primárias e intermediárias.

As variáveis meteorológicas forçantes diárias (temperaturas máximas e mínimas do ar, precipitação, humidade relativa e horas de brilho solar), foram extraídas dos boletins mensais das estações climatológicas do INEMET e do DAEE, situadas o mais próximo possível dos ecossistemas florestais. As variáveis intermediárias (exemplo pressão de saturação de vapor) são calculadas por programas específicos do modelo (Soares et al., 1989). Para detalhes ver Chaves (1992).

### 2.2.2. Parâmetros de entrada estimados

Estimou-se os valores do coeficiente de respiração de troncos, com base em relações clássicas entre coeficientes de respiração das diversas partes da planta, e da capacidade de armazenamento de água no solo, esta último em função da textura e da profundidade específica dos solos. Adotou-se este procedimento em função da escala regional do modelo, da diversidade dos solos existentes e da inexistência de constantes hidráulicas nos relatórios de mapeamento de solos disponíveis. Considerando-se a textura predominantemente argilosa para os solos das áreas-teste, obtem-se o valor da capacidade de armazenamento de água no solo da ordem de 2500 m<sup>3</sup>/ha. Os valores dos demais parâmetros, para as três áreas de estudo, foram definidos conforme Running and Coughlan (1988).

O coeficiente de respiração do tronco foi sintonizado para fornecer uma fotossíntese de respiração de cerca de 25% da fotossíntese bruta, para Passo Fundo, RS, para uma IAF de valor 6. Nobel (1991) estima que o valor da respiração de plantas, para regiões de clima temperado (melhor aproximação é Passo Fundo), como sendo de 20 a 50% da fotossíntese bruta.

### 2.2.3. Condições iniciais ou variáveis de estado

Estimou-se o conteúdo de água no solo e o conteúdo de carbono das diversas partes da planta (folhas, troncos e raízes), para o primeiro dia da simulação. Os valores das demais variáveis foram zerados na inicialização do modelo. O conteúdo de água no solo para o dia 01/01/89 foi estimado em 2500 m<sup>3</sup>/ha para as três regiões, ou seja, o seu valor máximo. este valor foi

obtido mediante uso do balanço hídrico de Thornthwaite-Matter de 1955, com dados de 1988. Os conteúdos de carbono das folhas, troncos/galhos e raízes foram inicializados em 2.4, 50.0 e 7.5 ton/ha, que são representativos para coníferas da América do Norte (Running and Coughlan, 1988). Não dispomos de dados, desta natureza, para coníferas do Brasil.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Simulação dos valores de IAF

Para facilitar a visualização e a discussão dos resultados gerados na simulação apresentamos separadamente as saídas dos componentes dos ciclos hidrológico e do carbono para os valores de IAF variando de 4 a 14. Pretende-se observar os padrões relativos das distribuições dos componentes dos ciclos modelados para estes dois valores de IAF.

#### 3.1.1 Ciclo hidrológico anual

A distribuição quantitativa do ciclo hidrológico entre os processos de evaporação, transpiração e escoamento apresentou dois padrões básicos (Figura 1, Tabelas 1 e 2, para IAF=6 e IAF=12). O primeiro padrão é característico das regiões de Grão Mogol e de Mogi Guaçu. Nestas regiões a precipitação anual foi inferior a 1300 mm, concentrando-se principalmente na primavera e no verão. A transpiração predomina sobre o escoamento superficial que é da mesma ordem que a evaporação. Para Passo Fundo, com precipitação superior a 1800mm, com melhor distribuição, o escoamento predomina para IAF de 6, mas diminui substancialmente para IAF de 12, onde a transpiração domina na razão de 3 para 1. Os padrões apresentaram-se conforme o esperado, haja vista que com o aumento do IAF, aumenta a evapotranspiração,

retirando água do solo, com conseqüente redução do escoamento superficial.

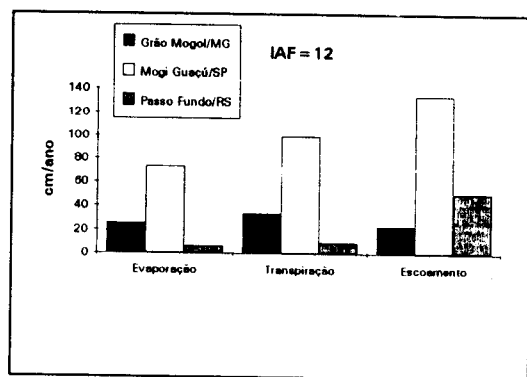
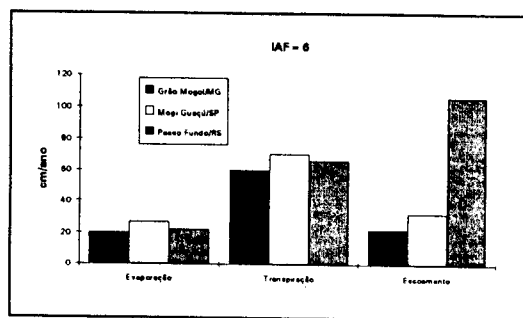


Figura 1. Distribuição do ciclo hidrológico para IAF=6 e IAF=12, para as três áreas teste.

Na Tabela 1 ( e na Tabela 2, quando for o caso), apresentadas na seqüência, S H<sub>2</sub>O é água no solo em cm, Precip. é Precipitação em mm, TM Máx e TM Mín são Temperatura Média das Máximas e das Mínimas; F.L. é Fotossíntese Líquida; R. Man. é Respiração de Manutenção; R. Cresc. é Respiração de crescimento; PPL é Produtividade Primária Líquida; PP Folh, PP Tronc e PP Raiz referem-se a Produtividade Primária das Folhas, Troncos e Raízes, nesta ordem; Decomp é taxa de decomposição da lignina.

	G. Mogol GM	M. Guaçu MG	P. Fundo PF	Jacksonv. JK
Condições Iniciais				
S H <sub>2</sub> O	25	25	25	23
Precip.	1039	1273	1814	1244
Latitude	-16,1	-22,2	-28,2	30
TM Máx	30,5	27,7	23,1	31,3
TM Mín	17,9	14,3	12,7	4,5
IAF=6				
	GM	MG	PF	JK
Ciclo Hidrológico				
Evap	20,03	26,93	22,16	17,5
Trans	60,14	70,41	66,08	61,9
Esc	22,09	32,23	106,04	48,1
Ciclo do carbono				
F. L.	16,91	24,05	22,29	21,2
R. Man.	8,94	6,85	5,29	6,5
R. Cresc.	2,65	5,72	5,65	4,9
PPL	8,32	11,34	9,8	5,32
PP Folh	1,29	2,79	2,76	2,4
PP Tronc	1,95	4,21	4,16	3,6
PP Raiz	2,07	4,47	4,42	3,8
Eficiência do uso da água				
F. L./Trans	0,28	0,34	0,34	0,34
PPL/Trans	0,09	0,16	0,17	0,16
Decomp.	64,81	79,46	71,7	64,01

Tabela 1. Condições iniciais e taxas anuais dos processos para IAF=6. S H<sub>2</sub>O é água no solo (cm), Carbono é em Ton/ha. Valores de Jacksonville por Running and Coughlan (1988) para comparação.

IAF=12	GM	MG	PF	JK
Ciclo Hidrológico				
Evap	25,27	33,75	22,88	
Trans	73,14	99,47	134,21	
Esc	5,95	9,28	50,43	
Ciclo do carbono				
F. L.	20,68	38,04	46,63	
R. Man.	8,94	6,85	5,29	
R. Cresc.	3,9	10,37	13,74	
PPL	7,83	20,82	27,59	
PP Folh	1,91	5,07	6,72	
PP Tronc	2,87	7,64	10,13	
PP Raiz	3,05	8,11	10,75	
Eficiência do uso da água				
F. L./Trans	0,28	0,38	0,35	
PPL/Trans	0,11	0,21	0,21	
Decomp.	80,37	110,06	130,43	

Tabela 2. Condições iniciais e taxas anuais dos processos para IAF=12. Valores para Jacksonville não disponíveis.

Na figura 2 observa-se o comportamento do processo de evaporação anual. Com o aumento no valor do IAF ocorre, nas três regiões, um aumento no processo

de evaporação a uma maior quantidade de precipitação que fica retida nas acículas e disponível para a evaporação. Entretanto, na região de Passo Fundo essa maior retenção ocorre no período de menor disponibilidade de radiação que passa a restringir processo já a partir do IAF=6. Nas demais regiões a maior retenção da precipitação ocorre no período de maior disponibilidade de radiação e a restrição ao processo ocorre a partir do IAF=12 em ambas as regiões, embora Mogi Guaçu sempre apresente taxas mais elevadas de evaporação.

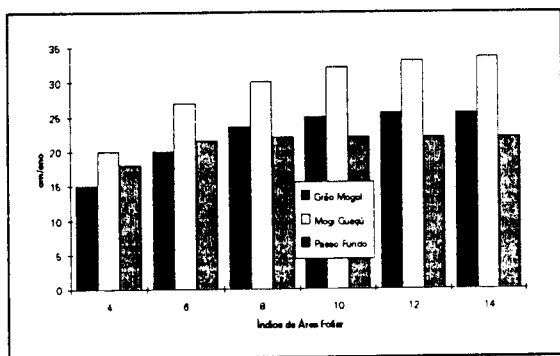


Figura 2 - Evaporação anual

Observa-se na figura 3 o comportamento do processo de transpiração anual com o aumento do IAF. Para a região de Passo Fundo, o comportamento da curva é praticamente linear até o IAF próximo de 12 e para a região de Mogi Guaçu este padrão de linearidade é observado até o IAF=6. A partir destes valores observa-se uma restrição ambiental e fisiológica ao processo. Para a região de Grão Mogol não se observa este padrão de comportamento, as restrições ao processo de transpiração são maiores e se manifestam a partir dos valores de IAF próximo a 6.

Na figura 4 observa-se o comportamento do processo de escoamento anual para as três regiões. A região de Passo Fundo apresenta, em relação às demais regiões, uma diferenciação acentuada em termos quantitativos do processo de escoamento embora o padrão das curvas seja similar.

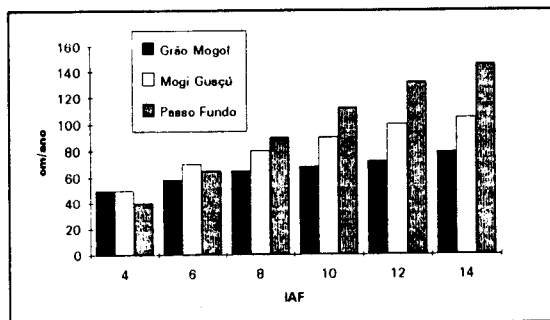


Figura 3 - Transpiração anual

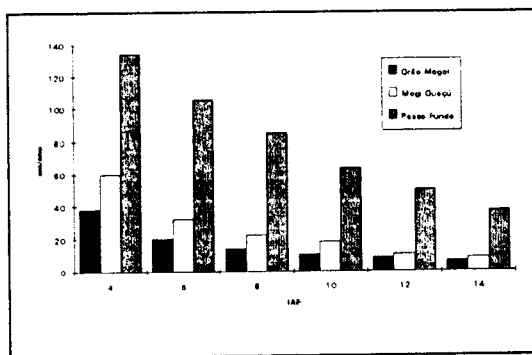


Figura 4 - Escoamento anual

O padrão apresentado mostrou-se conforme o esperado, uma vez que, com o aumento do índice de área foliar ocorre um aumento na taxa de evapotranspiração e conseqüentemente uma redução no processo de escoamento. A magnitude absoluta do processo nas três regiões está diretamente relacionada com o total e a distribuição da precipitação anual.

### 3.1.2 Ciclo Anual do Carbono

A resposta do aumento no valor do IAF na Produtividade Primária Líquida, PPL, (Fotossíntese - Respiração), foi variável nas três regiões (figura 5).

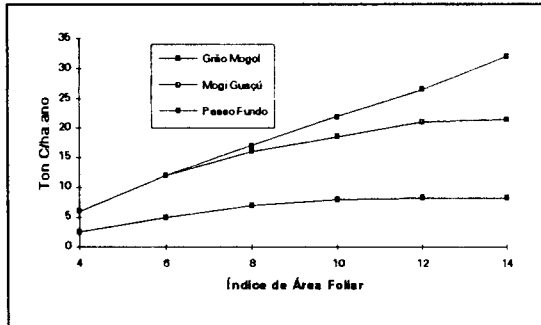


Figura 5: Produtividade Primária Líquida (PPL).

Na região de Passo Fundo, o aumento na PPL foi proporcional ao aumento no valor do IAF. Esta região apresentou temperaturas mensais amenas e uma maior disponibilidade de água durante todo o ano. Nas regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu, a atividade fotossintética é limitada diferencialmente pela água disponível. Na região de Grão Mogol, a limitação aconteceu a partir dos valores de IAF próximos a 6 enquanto que em Mogi Guaçu, a limitação ocorreu a partir do IAF=8. Para valores de IAF inferiores a 8, as condições ambientais foram praticamente iguais para produção fotossintética líquida anual na região de Mogi Guaçu e Passo Fundo. A fixação de carbono, nestas duas últimas regiões, tende a ser a mesma em função do maior consumo de carbono na região de Mogi Guaçu, utilizado no processo de respiração de manutenção do dossel. Na região de Passo Fundo a produtividade primária líquida é sempre

superior as demais regiões para valores de índice de área foliar maiores do que 8.

A produtividade primária líquida por partes do dossel também segue o mesmo padrão descrito anteriormente (gráficos não apresentados). Isto acontece porque o carbono fixado anualmente é distribuído para as partes do dossel a partir de uma proporção fixa para as três regiões dada pelos parâmetros de fração de fixação do carbono foliar), do carbono do conjunto tronco/galhos e do carbono das raízes também descrito em Running e Coughlan (1988).

A figura 6 mostra a eficiência do uso da água na PPL para as três regiões, para diferentes valores de IAF. As regiões de Passo Fundo e Mogi Guaçu apresentam uma maior eficiência de uso da água para valores de IAF próximos a 10, embora Mogi Guaçu apresente um melhor desempenho. Tal fato está associado à limitação da disponibilidade de água no solo que estabelece nessas duas regiões uma diferenciação na otimização dos recursos hídricos e energéticos existentes no ano de 1989.

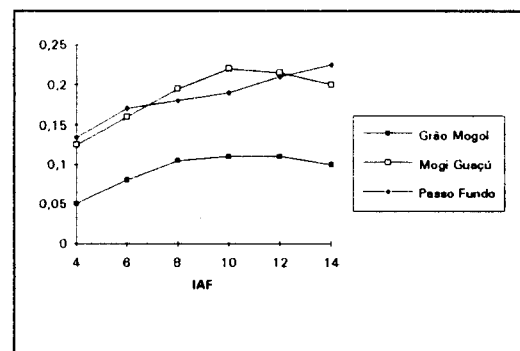


Figura 6: Eficiência do uso da água (Produtividade Primária líquida/transpiração)

Na figura 7 observa-se o comportamento da taxa de decomposição para diferentes valores de IAF. O processo de decomposição é modelado em função da evapotranspiração e do conteúdo de lignina na serrapilheira. Na região de Passo Fundo, onde não se observa limitação hídrica, o processo de evapotranspiração é superior às demais regiões, para valores de IAF maiores (tabela 1). Entretanto, com o aumento no valor do IAF espera-se uma redução na radiação disponível na serrapilheira e um aumento na interceptação de água pelo dossel reduzindo a sua humidade. Esses fatores deveriam induzir a um decréscimo nas taxas de decomposição. Desta forma, os valores absolutos das taxas de decomposição não devem ser válidos, embora sejam válidas as comparações relativas dos processos entre os locais para um determinado valor de IAF.

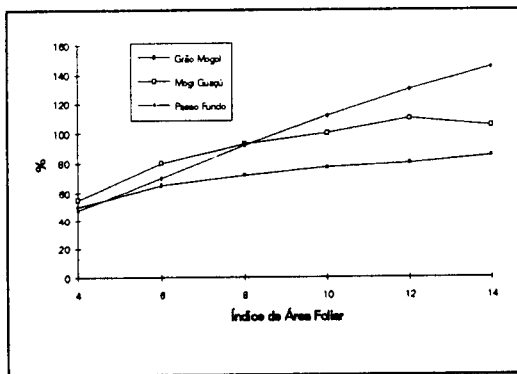


Figura 7: Taxa de decomposição da lignina

Nos resultados apresentados procurou-se enfatizar mais as diferenças relativas dos processos entre as três regiões do que tentar validar a exatidão das saídas do modelo. A validação desses resultados incorpora custos e dificuldades logísticas de montagem de experimentos de

campo que fogem do escopo deste trabalho. Neste caso, a validação inicial dos resultados deve ser feita parcialmente com base em dados levantados em ecossistemas e regiões climaticamente comparáveis e disponíveis na literatura. O modelo Forest-BCG apresentou resultados de simulação validados utilizando valores de IAF=6, para a região de Jacksonville-Flórida/USA, semelhantes aos resultados do ciclo do carbono apresentados pelo modelo Forecos para as regiões de Passo Fundo e Mogi Guaçu (tabela 2).

#### 4. Conclusões

O modelo implementado foi testado e mostrou-se capaz de retratar, em escala regional, diferenças relativas entre os processos básicos do ciclo hidrológico e do carbono de ecossistemas florestais de coníferas existentes nas regiões de Grão Mogol/MG, Mogi Guaçu/SP e Passo Fundo/RS. O modelo descreve quantitativamente as interações entre os fatores ambientais contrastantes destas três regiões com os principais processos físicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas florestais, apesar de algumas de suas variáveis não terem sido parametrizadas de maneira específica para cada ecossistema. Entretanto, a modelagem do processo de decomposição da serrapilheira e o cálculo da condutância mínima de CO<sub>2</sub> do mesófilo foliar, utilizada na estimativa do processo de fotossíntese necessitam serem revistos ou ajustados para uma melhor representação desses processos. O modelo apresenta, aparentemente, uma melhor desempenho na representação dos processos quando utilizado na faixa de valores de índice do



área foliar (IAF) compreendida entre 4 e 8. Para IAF superiores a 8, os valores dos processos modelados, tanto para o ciclo do carbono quanto para o ciclo hidrológico, tendem a se estabilizar nas regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu. Para a região de Passo Fundo, a maioria dos valores dos processos modelados continuam a apresentar acréscimos significativos com o aumento do valor de IAF.

Para a validação final do Modelo Forecos são necessárias estimativas específicas das condições iniciais e dos principais parâmetros, selecionados pelo teste de sensibilidade (resultados não apresentados), com medidas independentes dos processos modelados para comparar com as saídas calculadas pelo modelo. Neste contexto, cabe ressaltar dois aspectos peculiares e antagônicos. O primeiro aspecto é a dificuldade de se efetuar as estimativas regionais dos processos modelados necessários para a sua validação final. Mesmo as estimativas já existentes na literatura, em geral ficam restritas aos processos de evapotranspiração e são obtidas ao nível de canteiro experimental limitadas a um determinado período do ano. O segundo aspecto é que, apesar da dificuldade de se validar de forma absoluta os resultados do modelo, a única forma de tentar estimar estes processos numa escala regional é através de modelos desta natureza.

As saídas do modelo são particularmente sensíveis ao valor do índice de área foliar (IAF), e sua adequada estimativa é importante para a precisão dos resultados do modelo. Desta forma, o potencial de estimativa

do IAF a partir de dados de satélite é importante para simulações regionais dos processos de interesse em ecossistemas florestais.

## 5. Referências Bibliográficas

Badhwar, G.D.; Macdonald, R.D. Satellite-derived leaf-area-index and vegetation maps as input to global carbon cycle models—a hierarchical approach. **International Journal of Remote Sensing**, 7(2):265-281, 1986a.

Badhwar, G.D.; Macdonald, R.D.; Hall, F.G.; Carnes, J.G. Spectral characterization of biophysical characteristics in a boreal forest: relationship between Thematic Mapper band reflectance and leaf area index for Aspen. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 24(3):322- 326.1986b.

Chaves, M.A. **Perspectivas de estimativa dos balanços anuais hídrico e de carbono em ecossistemas florestais a partir de um modelo biogeoquímico associado a técnicas de sensoriamento remoto orbital.** Dissertação de Mestrado, INPE-5443-TDI/489, 1992, São José dos Campos, SP, Brasil, 165p.

Curran, P.J.; Dugan, J.L.; Gholz, H.L. **Seasonal LAI in slash pine estimated with Landsat TM.** California, Nasa, 1990. p.9. (Nasa Technical Memorandum, 102278).

Nemani, R.R.; Running, S.W. Testing a theoretical climate-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forest using satellite data and ecosystem simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, 44(8):245-260. 1989.

Nobel, P.S. Leaves and fluxes  
In: Academic Press Limited. ed.  
**Physicochemical and environmental  
plant physiology.** New York,  
s.ed. 1991, cap.8, p.393-467.

Peterson, D.L.; Spanner, M.A.;  
Running, S.W. Relationships of  
thematic Mapper simulator data to  
leaf area index of temperate  
coniferous forests. **Remote  
Sensing of Environment,**  
22(8):323-341. 1987.

Running, S.W.; Peterson, D.L.;  
Spanner, M.A.; Teuber, K.B.  
Remote sensing of coniferous  
forests. **Ecology,** 67(1):273-  
276.1986.

Running, S.W.; Coughan, J.C. A  
general model of forest ecosystem  
processes for regional  
applications. I.hidrological  
balance, canopy gas exchange and  
primary processes. **Ecological  
Modelling,** 42(7):125-154. 1988.

Running, S.W.; Nemani, R.R.;  
Peterson, D.L.; Band, L.E.;  
Potts, D.D.; Pierce, L.L.;  
Spanner, M.A. Mapping regional  
forest evapotranspiration and  
photosynthesis by coupling  
satellite data with ecosystem  
simulation. **Ecology,** 70(4):1090-  
1101.1989.

Salassier, B. Água no solo. In  
**Manual de irrigação.** Viçosa,  
Imprensa Universitária, 1982.  
cap. 1, p.3-24.

Soares, J.V.; Shimabukuro, Y.E.;  
Valeriano, D.M. **Modelagem dos  
ciclos hidrológicos e  
biogeoquímico para ecossistemas  
florestais-Forecos.** São José dos  
Campos, Instituto Nacional de  
Pesquisas Espaciais- INPE, jun.  
1989. Programa de computador.

Spanner, M.A.; Peterson, M.J.H.;  
Wrigley, D.H.C.; Running, S.W.

Atmospheric effects on the remote  
sensing estimation of forest  
leaf area index. In:  
International Symposium on Remote  
Sensing of Environment. 18,  
Paris, France, Oct. 1- 5, 1984.  
**Proceedings.** Paris, s.ed. 1984,  
p.1295-1308.

*Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, 10-14 Maio de 1993.*