

EVOLUÇÃO DA SUPERFÍCIE FLORESTAL MUNDIAL: UM PROGNÓSTICO BASEADO EM DINÂMICA DE SISTEMAS E NA MANUTENÇÃO DA TENDÊNCIA DAS TAXAS DE DESMATAMENTO

Leandro Duarte dos Santos¹

Sandro Luís Schlindwein²

Alfredo Celso Fantini³

RESUMO

A previsão do comportamento futuro da área de floresta pode ser o ponto de partida para a criação de estratégias e políticas que envolvem a dinâmica entre o uso e conservação de florestas. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo simular a evolução da área de florestas do mundo – entre 2015 e 2065 – em um cenário no qual se mantenha a tendência evolutiva das alterações percentuais de áreas de florestas, verificada entre 1990 e 2015. Metodologicamente o estudo em questão fez uso da abordagem de dinâmica de sistemas, bem como das alterações percentuais de áreas de florestas, representadas por equações lineares ajustadas a partir de dados compreendidos entre 1990 e 2015. As simulações apontaram para uma tendência de aumento da área mundial de florestas. Entretanto, de acordo com as simulações as florestas tropicais sofrerão redução em área.

Palavras-chave: Previsão da área de floresta mundial. Dinâmica de Sistemas. Desmatamento.

¹ Professor Engenharias UFSC/Blumenau. UFSC. E-mail: leduartesantos@yahoo.com.br

² Professor Titular - Centro de Ciências Agrárias – UFSC. E-mail: sandro.schlindwein@ufsc.br

³ Professor Ad junto - Departamento de Fitotecnia – UFSC. E-mail: Alfredo.fantini@ufsc.br

EVOLUTION OF WORLD FOREST AREA: A PROGNOSTIC BASED ON SYSTEMS DYNAMICS AND MAINTAINING THE TREND OF DEFORESTATION RATES

ABSTRACT

Forecasting the future behaviour of the forest area can be the starting point for the creation of strategies and policies that involve the dynamics between forest use and conservation. In this sense, the present work aims to simulate the evolution of the world's forest area - between 2015 and 2065 - in a scenario in which the evolutionary trend of percentage changes of forest areas, verified between 1990 and 2015, is maintained. Methodologically, the study in question made use of the systems dynamics approach, as well as the percentage changes of forest areas, represented by linear equations adjusted from data between 1990 and 2015. The simulations pointed to an increasing trend of world forest area. However, according to the simulations, tropical forests will be reduced in area.

Keywords: Forecast of World Forest Area. Systems Dynamics. Deforestation.



1 INTRODUÇÃO

O surgimento da consciência ambiental está estritamente relacionado com a criação do Clube de Roma na década de 60 (Odum, 1988). Idealizado por Aurelio Peccei (economista e industrial de nacionalidade italiana) em 1968, com o objetivo de debater a crise atual (à época) e futura da humanidade, o Clube de Roma contava com a participação de economistas, humanistas, cientistas, industriais, pedagogos e funcionários públicos (Meadows et al., 1972). O primeiro relatório publicado pelo Clube em 1972, intitulado *The Limits to Growth*, causou enorme impacto sobre a comunidade científica e a sociedade em geral, uma vez que este apontava uma série de implicações negativas que poderiam emergir do desequilíbrio que existia entre a disponibilidade dos recursos naturais do planeta, e as taxas com que estes vinham sendo utilizados. Tal relatório baseou-se metodologicamente na abordagem de dinâmica de sistemas. Em 1974, o clube de Roma publica seu segundo relatório, *Mankind at Turning Point*, que assim como o anterior, explora a limitação dos recursos naturais, frente aos padrões de consumo da humanidade (Mesarovic & Pestel, 1974).

Paralelamente ao crescimento das discussões de temas relacionados ao “meio ambiente¹”, aumentava também o número de desastres ambientais. Dentre os principais desastres ambientais ocorridos nas décadas de 1970 e 1980 destacam-se: os acidentes nucleares de Three Mile Island, em 1979, e de Chernobyl, em 1986; o vazamento do petroleiro Exxon Valdez, em 1989; e o vazamento de pesticidas da indústria Union Carbide, em 1984 na Índia. Esses eventos corroboravam, de certa forma, as previsões do clube de Roma, preocupando cada vez mais determinados segmentos da sociedade que, em meados da década de 1980, já se encontravam organizados em prol da conservação da natureza. Estavam então os holofotes voltados para a crescente causa ambiental, tanto que em 1992 ocorreu no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como Eco-92 ou Rio 92, na qual foram debatidos os problemas ambientais mundiais.

Dentre os inúmeros assuntos levantados durante a conferência houve certo destaque para a Declaração de Princípios sobre Florestas, um documento sem força jurídica obrigatória, no qual se faz uma série de recomendações para a conservação e o desenvolvimento sustentável florestal.

De fato, de acordo com os números apontados por Keenan et al. (2015), a partir do início da década de 1990, pode-se identificar uma mudança na intensidade das ações humanas sobre as florestas, uma vez que a taxa de desmatamento mundial apresentou significativa queda desde o início da década de 1990 até o ano de 2015, passando de 7,3 mi ha ano⁻¹ para 3,3 mi ha ano⁻¹. Outras tendências interessantes verificadas no período analisado são as expansões da área de floresta boreal (a uma taxa de 2,2 mi ha ano⁻¹) e de florestas plantadas (de 168 mi ha ano⁻¹ para 278 mi ha ano⁻¹). Apesar da significativa redução no desmatamento evidenciada a partir dos números apresentados por Keenan et al. (2015), a área florestal mundial total, reduziu aproximadamente 3% entre 1990 e 2015.

Todavia, mantida a tendência atual de redução do desmatamento, como será a evolução da superfície florestal mundial no futuro? Será possível assinalar um incremento da área mundial de floresta? Essas questões, que podem ser respondidas a partir de resultados obtidos em simulações de modelos matemáticos, têm um

¹ Entende-se por meio ambiente o seguinte conceito utilizado pelas Nações Unidas: “meio ambiente é o conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos e sociais capazes de causar efeitos diretos ou indiretos, em um prazo curto ou longo, sobre os seres vivos e as atividades humanas.

significado que transcende a mera curiosidade, já que pode ser o ponto de partida para a formulação de estratégias e políticas para tratar do conflito entre o uso e a conservação das florestas mundiais.

De acordo com Angelsen & Kaimowitz (1999) há uma infinidade de elementos e variáveis antrópicas que podem influenciar nos fluxos de desmatamento e regeneração de florestas, o que de certa forma dificulta a atribuição de relações precisas de causas e consequências para variações na superfície de cobertura florestal. Tal fato dificulta a criação de modelos que estimem de forma confiável a variação de cobertura florestal ao longo do tempo para grandes áreas. Entretanto, de acordo com Sterman (2000) existem propriedades estruturais comuns, no que se refere à evolução do comportamento ao longo do tempo, para os mais variados sistemas. Tais propriedades compõe a abordagem teórica intitulada de dinâmica de sistemas, muito utilizada em vários campos do conhecimento, inclusive na previsão do comportamento de recursos naturais, como pode ser observado no trabalho de Meadows et al. (1972) (sendo este um marco inicial para o movimento ambientalista).

Segundo Lyneis (2000) a dinâmica de sistemas pode ainda realizar melhores previsões quando comparados à outros métodos de modelagem e consequentemente nortear melhores decisões.

Considerando os argumentos citados anteriormente e fazendo uso do ferramental teórico da dinâmica de sistemas, o presente trabalho tem por objetivo simular a evolução da área de florestas no mundo para o período compreendido entre os anos de 2015 e 2065, considerando um cenário em que se mantenha a tendência das alterações das áreas de florestas verificada entre 1990 e 2015.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Dinâmica de sistemas é uma abordagem e um conjunto de ferramentas conceituais que permitem compreender a estrutura e a dinâmica de sistemas complexos. Dinâmica de Sistema é também um método de modelagem rigorosa que permite construir simulações computacionais de sistemas complexos e usá-las para projetar políticas e ações mais eficazes (STERMAN, 2000; VENNIX, 1996).

A dinâmica de sistema busca entender, ao longo do tempo, a estrutura e o comportamento de sistemas compostos por enlaces de *feedbacks* interantes. Tal metodologia busca compreender melhor as relações entre variáveis de um sistema,

bem como fazer inferências do que poderá ocorrer futuramente, caso ocorram mudanças nas variáveis consideradas. Assim, esta ferramenta auxilia a tomada de decisões em relação a uma determinada situação ou fenômeno complexo que está ocorrendo ou venha ocorrer (STERMAN, 2000; VENNIX, 1996).

De acordo com Dalla-Nora et al. (2014), as previsões existentes para as alterações do uso do solo baseadas em técnicas tradicionais de modelagem frequentemente falham em captar a trajetória real das transformações em questão, uma vez que estas são fortemente influenciadas por políticas. Segundo Sterman (2000), os modelos de dinâmicas de sistemas apresentam-se justamente como uma ferramenta de aprendizado sobre os efeitos que determinadas políticas podem exercer sobre uma determinada situação problema, prevendo seu futuro considerando alternativas de ações que melhorem tal situação mitigando consequências indesejadas.

Em relação ao contexto florestal e as transformações de uso de solo uma série de trabalhos fazem uso da dinâmica de sistemas como ferramental metodológico dentre os quais destacam-se: Yu et al. (2010), BenDor e Metcalf (2006), Dudley (2004), Yamamoto et al. (1999), Collins et al. (2013), Wallmann et al. (2005) e Mendoza e Prabhu (2006). Todos os trabalhos mencionados, além de realizarem previsões, conseguem captar o efeito de políticas dentro da dinâmica da situação problema, o que, de certa forma, permite pensar e agir sistemicamente no sentido de melhoria.

Sterman (2000) e Vennix (1996) argumentam sobre o poder de síntese da dinâmica de sistemas. Segundos estes autores, uma estrutura de dinâmica de sistemas pode resumir uma série de equações matemáticas facilitando imensamente o processo de modelagem, aumentando, conseqüentemente, a profundidade na qual determinado assunto pode ser estudado.

3 METODOLOGIA

Evidentemente que a dinâmica que rege a mudança de área de florestas para outros usos do solo é extremamente complexa, sendo composta por inúmeras variáveis e elementos conectados entre si. Entretanto, variações percentuais nas

áreas de florestas² dentro de um período podem ser um bom indicativo da pressão exercida sobre estas, no sentido de mudança de uso do solo. Sendo assim e considerando que a dispersão de dados ao longo do tempo pode representar uma determinada tendência, foram ajustadas, no *software Microsoft Excel 2010*, equações lineares que relacionam alterações percentuais de áreas de florestas em relação ao tempo, equação (1):

$$y = a \cdot t + b \quad (1)$$

Em que:

y = alteração percentual da área de floresta;

a = coeficiente angular ajustado;

t = tempo, sendo uma unidade de tempo 5 anos;

b = coeficiente linear ajustado

Ao total foram ajustadas 16 equações uma para cada floresta enquadrada dentro das regiões, domínios climáticos e países retratados na pesquisa (tabela 1). O ajuste das equações baseou-se nas alterações percentuais em área de floresta ocorridas entre 1990, 1995³, 2000, 2005, 2010 e 2015 utilizando os dados presentes em Keenan et al. (2015).



Tabela 1. Regiões, domínios climáticos e países retratados na pesquisa

Região	Domínio Climático	País*
América do Norte e América Central	Boreal**	Brasil
América do Sul	Sub tropical	Canadá
Europa	Temperado	Estados Unidos
Ásia	Tropical	Rússia
África	-	-
Oceania	-	-

* Com o intuito de evitar uma análise demasiadamente extensa foram retratados apenas os quatro países detentores das maiores áreas de florestas no mundo.

** As regiões polares estão inseridas no domínio climático Boreal

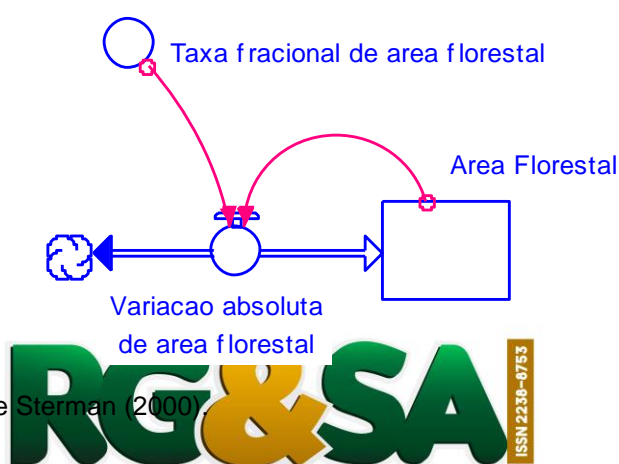
Fonte: Keenan et al. (2015)

² O conceito de floresta segundo a FAO é área com pelo menos 0,5 hectare coberta por árvores maiores de 5 metros e com cobertura de dossel maior que 10%.

³ Os dados presentes em Keenan et al. (2015) são baseados em relatórios da FAO que até o ano de 2000 tinham periodicidade de 10 anos, passando, após esta data, a serem publicados a cada cinco anos. Com o intuito uniformizar a unidade de tempo em 5 anos, o período de 1995 foi estimado através de média entre as áreas dos anos de 1990 e 2000.

O processo de modelagem foi realizado no software Stella™ v9.0 com base em um sistema de primeira ordem não linear, que, segundo Sterman (2000), está relacionado à uma estrutura genérica de crescimento. A partir da figura 1 é possível visualizar o diagrama de fluxo e estoque utilizado para simular o comportamento futuro das áreas de florestas enquadradas dentro das sub regiões, domínios climáticos e países apresentados na tabela 1.

Figura 1. Diagrama de fluxo e estoque utilizado nas simulações



Fonte: Adaptado de Sterman (2000)

De acordo com Sterman (2000) a partir da estrutura apresentada na figura 1 torna-se possível estimar: (1) o valor do estoque (representado pelo retângulo) e neste caso a área absoluta de floresta; (2) os fluxos absolutos, ou alterações nas áreas de florestas (representados pelo círculo ligado a flechas opostas); e (3) as taxas fracionais em relação ao estoque (círculo), sendo estas estimadas pelas equações previamente ajustadas. As equações relacionadas à cada estrutura constam a seguir:

$$S(t) = S(t - dt) + I * dt \quad (2)$$

Em que:

S = estoque ou área florestal, dado em 1000 hectares;

I = fluxo absoluto ou variação absoluta de área florestal, dado em 1000 hectares;

t = tempo, dado em 5 anos

Considerando que o estoque é dado em função do fluxo, apresenta-se a equação 3:

$$I = S(t - dt) * y(t) \quad (3)$$

Em posse da estrutura apresentada na figura 1 bem como das equações que traduzem a tendência do comportamento das alterações percentuais de área em relação ao tempo para as florestas enquadradas dentro das regiões, domínios climáticos e países mencionados na tabela 1, foram realizadas simulações para o período 1990 – 2015 com o intuito de verificar a qualidade do método proposto a partir do erro relativo percentual existente entre as áreas de florestas mencionadas por Keenan et al. (2015) e aquelas obtidas como resultados das simulações em questão. Após tal comparação, foram realizadas previsões para o comportamento futuro das áreas de florestas enquadradas nas sub regiões, domínios climáticos e países da tabela 1 para o período compreendido entre os anos de 2015 a 2065.

Para as simulações em questão optou-se por Δt sendo igual a $\frac{1}{4}$, valor sugerido por Sterman (2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Validação do método de previsão proposto

De uma forma geral os resultados das simulações para o período de 1990 a 2015 variaram pouco em relação aos dados relativos a área de floresta presentes em Keenan et al. (2015). Tal fato pode ser evidenciado a partir dos desvios padrões e das médias dos erros relativos obtidos com base na diferença entre os resultados da simulação e dos dados presentes em Keenan et al. (2015). As tabelas 2, 3 e 4 apresentam – respectivamente, de acordo com a região, domínio climático e país - as médias dos erros relativos, bem como os desvios padrões dos erros relativos.



Tabela 2. Média e desvio padrão dos erros relativos obtidos com base na diferença de dados reais e oriundos de simulação - Regiões

Região	Média do erro relativo (%)	Desvio padrão do erro relativo (%)
América do Norte e América Central	0,138	0,124
América do Sul	0,308	0,169
Europa	0,132	0,126
Ásia	0,227	0,188
África	0,047	0,045
Oceania	0,738	0,709

Fonte: Os Autores

Tabela 3. Média e desvio padrão dos erros relativos obtidos com base na diferença de dados reais e oriundos de simulação – Domínio Climático

Domínio Climático	Média dos erros relativos (%)	Desvio padrão dos erros relativos (%)
Boreal	0,092	0,085
Subtropical	0,964	0,923
Temperado	0,291	0,136
Tropical	0,384	0,153

Fonte: Os Autores

Tabela 4. Média e desvio padrão dos erros relativos obtidos com base na diferença de dados reais e oriundos de simulação – Países

País	Média dos erros relativos (%)	Desvio padrão dos erros relativos (%)
Brasil	0,593	0,281
Canadá	0,009	0,005
Estados Unidos	0,283	0,280
Rússia	0,162	0,148

Fonte: Os Autores

Os baixos valores para a média e desvio padrão dos erros relativos apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 dão certa credibilidade ao método de simulação proposto.

4.2 Previsão para o comportamento futuro das áreas de florestas (2015 -2065)

- Área Mundial

Conforme pode ser observado no gráfico da figura 2 as simulações apontaram para um incremento de quase 5% na área de florestas no mundo no período de 2015 a 2065, passando de aproximadamente 4 para 4,17 bilhões de hectares.

Figura 2. Projeção da área de floresta mundial para o período 2015 a 2065



Fonte: Os Autores

O crescimento da área de floresta mundial, apontado pelas simulações foi mais expressivo após o ano de 2030. Entre 2030 e 2065 as simulações apontaram um incremento da cobertura florestal de aproximadamente 5%. Já de 2015 a 2025 a área de floresta teve uma leve queda de 0,0024%.

Os resultados obtidos com a simulação se mostraram diferentes dos obtidos por D'Annunzio et al. (2015). Neste último há tendência de redução de área de floresta mundial até o ano de 2050. Vale ressaltar que D'Annunzio et al. (2015) obtiveram seus resultados a partir de um modelo que utilizava dados relacionados a áreas de florestas por países, sendo que as alterações nestas áreas eram função principalmente das projeções das áreas para agricultura e da demanda futura por madeira.

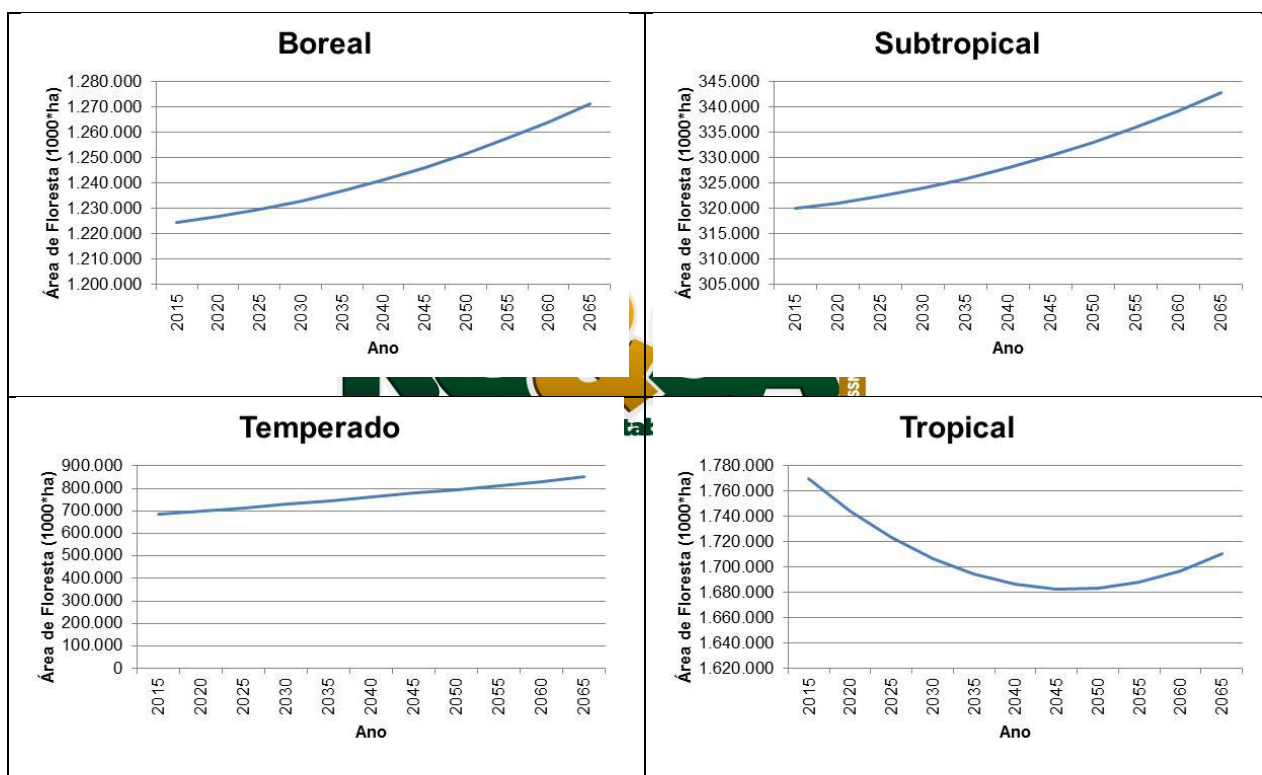
Outros trabalhos, também apresentaram tendência de redução da área de floresta mundial em suas projeções, como os de Carpenter et al. (2005), UNEP (2007) e OECD (2012) que apontaram em uma redução de área de floresta de cerca de 15%

entre 2010 e 2030. Entretanto, nenhum considerou a manutenção da tendência evolutiva das alterações percentuais de áreas de florestas, verificadas entre 1990 e 2015.

- Domínios Climáticos

A figura 3 apresenta os gráficos das projeções das áreas de floresta dos domínios climáticos para o período de 2015 a 2065.

Figura 3. Gráficos das projeções das áreas de floresta dos domínios climáticos para o período de 2015 a 2065.



Fonte: Os Autores

Percentualmente os maiores incrementos em área de floresta foram observados no domínios climáticos: Temperado (24%), seguido pelo Subtropical (7%), Boreal (4%) e Tropical (-3%).

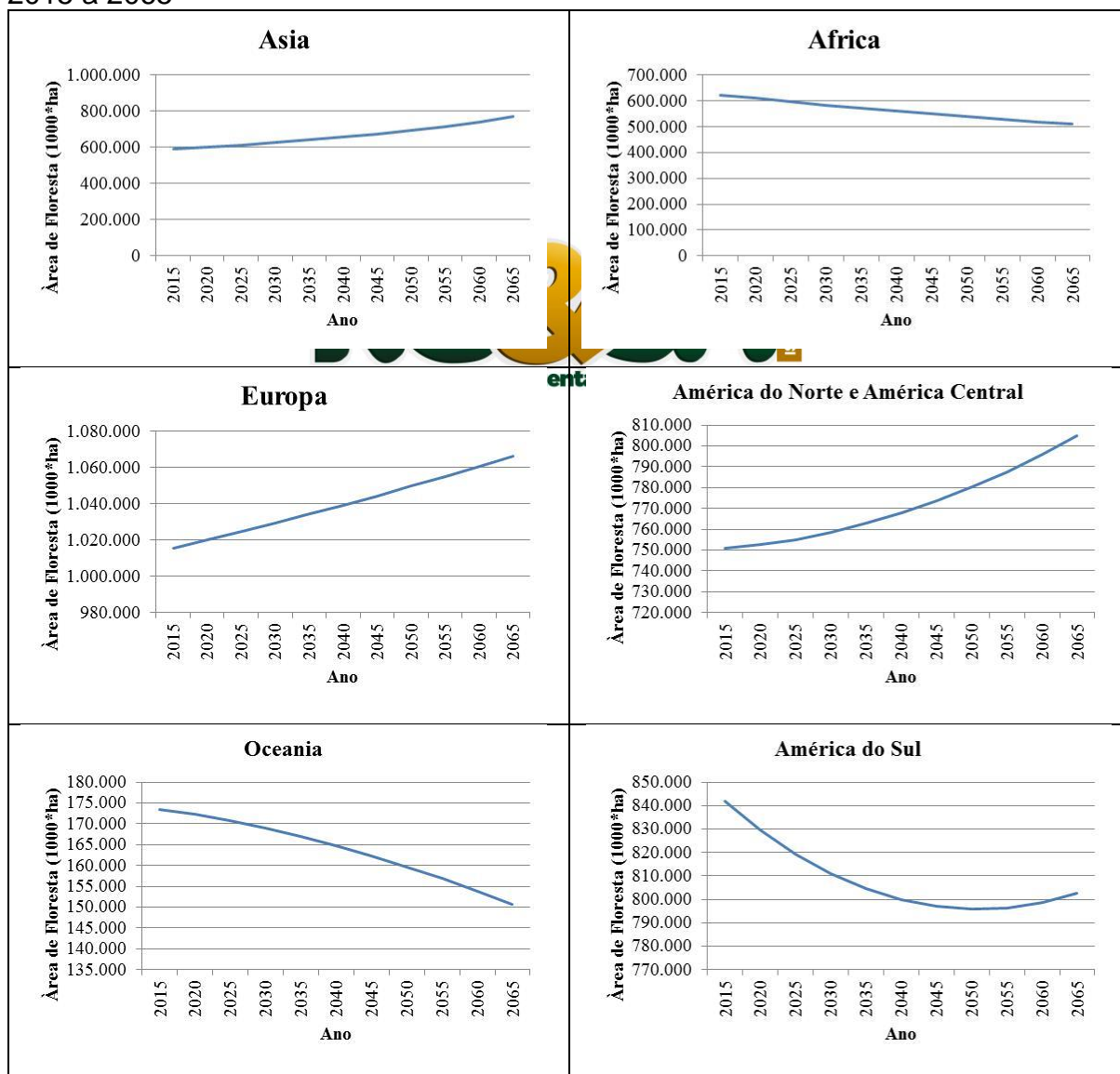
Apenas o domínio climático tropical apresentou redução na área de floresta no período de 2015 a 2065, o que de certa forma confirma a tendência de maior desmatamento para a região dos trópicos apontada por D'Annunzio et al. (2015) e UNEP (2007). Entretanto, após o ano de 2045 as simulações apontaram que o

domínio em questão apresentará um aumento das áreas de florestas a uma taxa média anual de 0,1% ao ano.

- Regiões

Dentre as seis regiões analisadas, quatro delas, segundo as simulações, terão crescimento em área de floresta e duas decréscimo. Tais tendências podem ser observadas na figura 4 que apresenta os gráficos das projeções de áreas de florestas para cada região analisada.

Figura 4. Gráficos das projeções das áreas de floresta das regiões para o período de 2015 a 2065



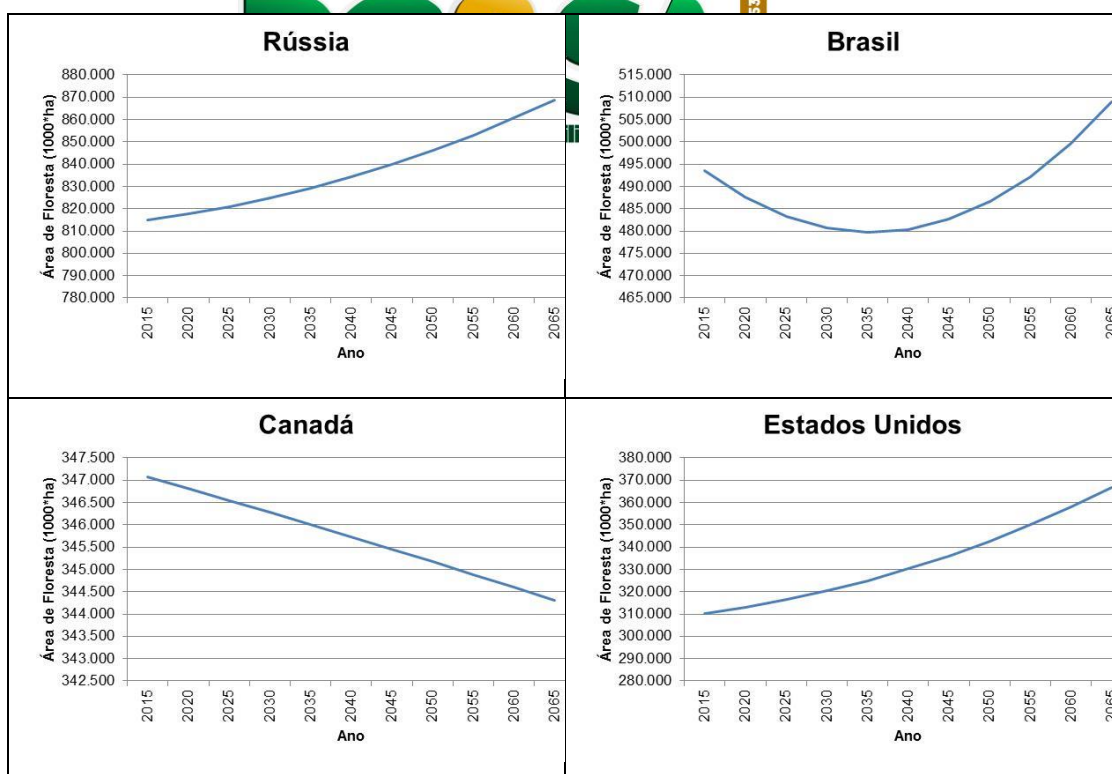
Fonte: Os Autores

As maiores variações percentuais positivas em área de floresta para o período simulado foram verificadas para a Ásia (30%), seguido por América do Norte e América Central (7%), e Europa (5%). Em contrapartida, as maiores variações percentuais negativas em área de floresta se deram na África (-18%), seguido por Oceania (-13%) e América do Sul (-5%). Nas simulações realizadas por D'Annunzio et al. (2015), entre o período de 2010 e 2030, as regiões Ásia, América do Norte e Central, e Europa também apresentaram uma tendência de crescimento, sendo tais crescimentos de 2%, 2%, e 3%, respectivamente. Já as regiões África, Oceania e América do Sul apresentaram comportamento de decréscimo (África -4%, Oceania -1%, e América do Sul -9%).

- Países

A figura 5 apresenta os gráficos das projeções das áreas de floresta dos países analisados para o período de 2015 a 2065.

Figura 5. Gráficos das projeções das áreas de floresta dos países analisados para o período de 2015 a 2065



Fonte: Os Autores

O decréscimo em área de floresta observado na África pode estar associado à intensificação da agricultura que vem ocorrendo e está prevista para o continente, conforme pode ser observado em Alexandratos e Bruinsma (2012). Em relação à

redução de área na América do Sul, esta pode estar atrelada às altas taxas de desmatamento ainda encontradas na Amazônia (Laurence et. al., 2004).

Como pode ser observado na figura 5 as florestas dos Estados Unidos apresentam incremento em área de 18% dentro do período analisado, seguido Rússia (7%), Brasil (3%) e Canadá (-1%). Entre os cinco maiores países em área florestal, apenas o Canadá apresentou uma tendência de redução da área de floresta.

É interessante ressaltar que em relação ao Brasil há uma redução de área de floresta até o ano de 2040, sendo que após este ano as áreas de florestas aumentam, tal tendência pode ser explicado pelos argumentos de Arima et al. (2014), segundo estes, o declínio da taxa de desmatamento na floresta amazônica brasileira é resultado de dois processos simultâneos, a estagnação da demanda global agrícola e a aplicação de políticas para reduzir o desmatamento.

5 CONCLUSÕES

Apesar de o modelo em questão não conseguir atribuir relações causais para as alterações nas áreas de florestas, este se apresentou como uma potente ferramenta de projeção - considerando a manutenção da tendência de alterações percentuais nas áreas de florestas que ocorreram entre 1990 e 2015.

Não obstante da simplicidade que envolve a construção do modelo, os resultados apresentados pelo mesmo mostraram-se, de certa forma, coerentes com os resultados oriundos de outros modelos mais complexos. Este fato acaba corroborando o poder de síntese da Dinâmica de Sistemas.

A partir da comparação dos resultados do presente estudo com D'Annunzio et al. (2015), Carpenter et al. (2005), UNEP (2007) e OECD (2012), observa-se que o futuro previsto pelo modelo em questão apresenta áreas de florestas ligeiramente maiores. Tal fato é resultante da premissa estabelecida de que se mantenha a tendência de alterações percentuais nas áreas de florestas que ocorreram entre 1990 e 2015.

Assim como em D'Annunzio et al. (2015), Carpenter et al. (2005), UNEP (2007) e OECD (2012), as maiores taxas de desmatamento foram encontradas para as florestas tropicais, especialmente na América do Sul, África e Oceania. Tal informação corrobora que estas regiões merecem mais atenção quanto à forma de interação homem-floresta.

Para que os resultados se corroborem no futuro, é imprescindível a manutenção da tendência evolutiva das alterações percentuais de áreas de florestas. De uma forma geral, esta tendência se traduz em taxas fracionais de redução de área florestal cada vez mais baixas. Para que isto ocorra se faz necessário a implementação de ações que incentivem a regeneração florestal, bem como a expansão de plantios florestais e redução do desmatamento.

Para trabalhos futuros sugere-se a expansão da estrutura apresentada com o intuito de conseguir atribuir relações causais para as alterações das taxas fracionais de área florestal, o que daria maior poder ao modelo no sentido de pensar e agir sistemicamente sobre o futuro das florestas.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper 12-03. Rome: FAO; 2012

ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: lessons from economic models. **The world bank research observer**, v. 14, n. 1, p. 73-98, 1999.

ARIMA, E. Y.; Barreto, P.; Araújo, E.; Soares-Filho, B. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land use policy**, v. 41, p. 465-473, 2014.

BENDOR, T. K.; METCALF, S. S. The spatial dynamics of invasive species spread. **System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society**, v. 22, n. 1, p. 27-50, 2006

BERTALANFFY, L.V. **General System Theory**, 1st ed. New York: Braziller; 1968.

CARPENTER, S.R.; PINGALI, P.L.; BENNETT, E.M.; ZUREK, M.B. **Millennium ecosystem assessment: ecosystems and human well-being (volume 2)**. Findings of the Scenarios Working Group, Millennium Ecosystem Assessment, Washington: Island Press; 2005.

COLLINS, R.D; DE NEUFVILLE, R.; CLARO, J.; OLIVEIRA, T.; PACHECO, A. P. Forest fire management to avoid unintended consequences: A case study of Portugal using system dynamics. **Journal of environmental management**, v. 130, p. 1-9, 2013

DALLA-NORA, E.L.; DE AGUIAR, A.P.D.; LAPOLA, D.M.; WOLTJER, G. Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade?. **Land Use Policy**, v. 39, p. 403-411, 2014.

D'ANNUNZIO, R.; SANDKER, M.; FINEGOLD, Y.; MIN, Z. Projecting global forest area towards 2030. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p.124-133, 2015.

DUDLEY, R.G. Modeling the effects of a log export ban in Indonesia. **System Dynamics Review**, v. 20, n. 2, p. 99-116, 2004.

KEENAN, R.J.; REAMS, G.A.; ACHARD, F.; FREITAS, J.V.; GRAINGER, A.; LINDQUIST, E. Dynamics of global forest area: results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 9-20, 2015.

LAURANCE, W.F.; ALBERNAZ, A.K.; FEARNESIDE, P.M.; VASCONCELOS, H.L.; FERREIRA, L.V. Deforestation in Amazonia. **Science**, v. 304, n. 5674, p. 1109-1111, 2004.

MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W.W. **The limits to growth**. New York: Universe Books; 1972.

MENDOZA, G.A.; PRABHU, R. Participatory modeling and analysis for sustainable forest management: Overview of soft system dynamics models and applications. *Forest Policy and Economic*, v. 9, n. 2, p.179-196, 2006.

MESAROVIC, M.; PESTEL, E. Mankind at the turning point. **The second report to the Club of Rome**. New York: Dutton; 1974.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A.; 1988.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. **Environmental outlook to 2050: the consequences of inaction**. Paris: OECD Publishing; 2012.

STERMAN, J.D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global environment outlook 4 (GEO-4). United Nations Environment Programme**, Nairobi. 2007. Disponível em : <http://www.unep.org/geo/geo4.asp>> Acesso em: 20/10/2017.

VENNIX, J.A.M. **Group model building: facilitating team learning using system dynamics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.

YAMAMOTO, H.; YAMAJI K.; FUJINO, J. Evaluation of bioenergy resources with a global land use and energy model formulated with SD technique. **Applied Energy**, v. 63, n. 2, p. 101-113, 1999.

YU, W.; ZANG, S.; WU, C.; LIU, W.; NA, X. Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China. **Applied Geography**, v. 31, n. 2, p. 600-608, 2011.

