

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:
Favor citar como:

**Maldonado, F.D., E.W.H. Keizer, P.M.L.A.
Graça, P.M. Fearnside & C.S. Vitel. 2012.
Previsão temporal da distribuição espacial
do desmatamento no interflúvio Purus-
Madeira até o ano 2050. Pp. 183-196 In:
W.C. de Sousa Junior, A.V. Waichman,
P.A.A. Sinisgalli, C.F. de Angelis & A.R.
Romeiro (eds.) *Rio Purus: Água, Território e
Sociedade na Amazônia Sul-Occidental*.
LibriMundi, Goiânia, Goiás. 282 pp.**

ISBN 978-85-63142-09-2.

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

LibriMundi, Goiânia, Goiás

Previsão temporal da distribuição espacial do desmatamento no interflúvio Purus-Madeira até o ano 2050

*Francisco Dario Maldonado, Edwin Willem Hermanus Keizer,
Paulo Mauricio Lima de Alencastro Graça,
Philip Martin Fearnside, Claudia Suzanne Vitel*

INTRODUÇÃO

O entendimento do futuro da região central da Amazônia é fundamental porque compreende uma extensa rede hidrológica onde confluem os rios Solimões, Purus, Negro e Madeira para formar o Amazonas. Em um futuro próximo, uma larga faixa de terrenos desflorestados, produzidos pela consolidação de uma rodovia federal, poderá dividir a floresta amazônica em dois blocos, alterando e interrompendo muitos dos processos macro-ecológicos que a mantêm saudável (Fearnside e Graça, 2006).

O futuro dessa região traz grande preocupação em relação à expansão da pecuária e do cultivo de soja sobre áreas de floresta. Esse cultivo é apontado cada vez mais como causador de desmatamento, em função da perspectiva de avanço do plantio no norte do país, como resultado da pressão dos biocombustíveis (cana de açúcar) sobre áreas de soja nas regiões sul e sudeste. (Fearnside, 2006). Com a idéia de conter o avanço do desmatamento, já se tem delimitado e proposto algumas áreas de proteção ambiental e terras indígenas (Oliveira, 2005; Fearnside, 2005).

A região em questão é o interflúvio entre os rios Purus e Madeira, área que possui uma superfície de 15,4 milhões de hectares (aproximadamente 800 km de comprimento por 150 km de largura) dispostos de sudoeste para nordeste. Esse interflúvio está entrecortado por centenas de pequenos rios ou “igarapés” afluentes de ambas as bacias. Suas nascentes se encontram na mesma área da rodovia federal BR-319, não pavimentada, que interliga a Cidade de Manaus, com cerca de 1,7 milhões de habitantes, com Humaitá e Porto Velho, situadas em regiões com as mais altas taxas de desmatamento do Brasil (Fearnside, 2006). Além disso, existem outras obras em andamento na região, como a criação do gasoduto Urucu e a construção das hidrelétricas do Rio Madeira, Jirau e Santo Antônio. Essas obras de infra-estrutura acompanham o avanço das madeireiras, soja e pecuária para o norte, adentrando o Estado de Amazonas.

O principal motivo para a consolidação da BR-319 (a partir de sua pavimentação) é a comunicação terrestre da capital Manaus com o resto do Brasil, para o transporte da produção do pólo industrial. Em resposta à preocupação com o futuro dessa área foi criada em 2006 uma “Área sob Limitação Administrativa Provisória – ALAP” (Ministério do Meio Ambiente, 2006), ao longo do traçado da estrada BR-319 (Manaus-Porto Velho). A ALAP possuía um tamanho aproximado a 10% do Estado do Amazonas, proibindo o desmatamento e instalação de novos empreendimentos de exploração por um período de seis meses.

Desde então, a região de influência da BR-319 foi o foco de atenção para propostas de criação de novas áreas protegidas (Nelson, 2006); três Parques Nacionais de 2,7 milhões de hectares com proteção integral: Parque

Nacional de Coari; Parque Nacional de Umari e Parque Nacional do Jari; e nove unidades de uso sustentável de 6,7 milhões de hectares; Reserva de Uso Sustentável (RDS) de Ipixuna, RDS de Capanã Grande, RDS de Canutama, RDS de Igapó-Açu, Reserva Extrativista (RESEX) de Ituxi, Resex do Médio Purus, Floresta Nacional (FLONA) de Tapauá, Floua de Iquiri, Floresta Estadual de Beruri, além da ampliação da Flona Balata-Tufari.

Com a mesma preocupação, foi estabelecido no âmbito do Projeto GEOMA (gerido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia), o subprojeto Madeira-Purus, orientando estudos de biodiversidade e simulações do desmatamento para contribuir com as propostas de criação de áreas protegidas nessa região. Nesse projeto foram desenvolvidos três modelos espaciais para simular o desmatamento, um baseado no CLUE (Aguiar, 2006) e dois no Dinâmica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) (Hermann, 2007, Soares-Filho *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2009.). O modelo SimAmazonia baseado no Dinâmica (Soares-Filho *et al.*, 2006), apresentou resultados da simulação do desmatamento futuro para toda a Amazônia. A simulação apresentou dois cenários do desmatamento: um é o chamado cenário “*Business As Usual*” (BAU), para o qual mantém-se o modelo exploratório e regulatório atualmente em vigor; o outro cenário, chamado “*Governance*”, é influenciado por políticas públicas de preservação e regulação avançada, como a criação de áreas protegidas, controle da exploração madeireira e do tráfego viário de cargas. A Figura 1 ilustra estes cenários.

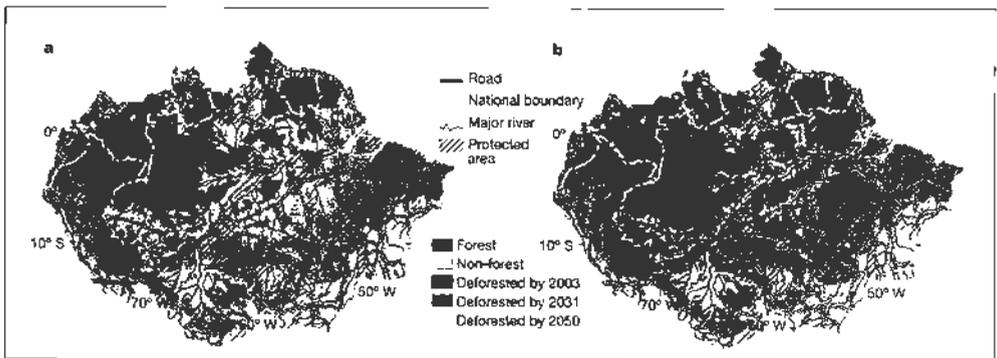


Figura 1. Simulação do desmatamento até 2050, apresentada por Soares-Filho *et al.* (2006). a) cenário BAU e b) cenário com controle governamental e novas áreas protegidas

Outro dos modelos citados anteriormente é o “Agroeco” utilizado no presente trabalho, cuja última versão possui ajustes baseados na incorporação cronológica dos traçados de rodovias e estradas secundárias futuras projetadas por planos governamentais e atividade de pequenas explorações. Os resultados da versão 2007 desse modelo (Fearnside *et al.*, 2007) foram sobrepostos com mapas de biomassa para obter as curvas de emissões anuais de gases de efeito estufa, perda de biomassa e potenciais impactos aos serviços ambientais (ciclos de carbono, biodiversidade, ciclos hídricos, etc.). Esses resultados foram apresentados pelo governo do Estado de Amazonas na reunião da Conferência sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas de Dezembro de 2007, em Bali, na Indonésia (Schlamadinger, 2007).

A diferença desse modelo com outros é que a expansão de estradas não está limitada pela presunção de um processo de desmatamento puramente “dirigido pela demanda”. Esta suposição impede que outros modelos de desmatamento representem o efeito de decisões relativas à criação de áreas de proteção ambiental na Amazônia. A modelagem do desmatamento baseada na demanda implica a perda dos benefícios de criação de áreas de proteção.

O objetivo do presente trabalho foi obter mapas de previsão anual do avanço do desmatamento do Interflúvio Purus-Madeira até o ano 2050, a partir da simulação com o modelo espacial AGROECO 2008 num cenário BAU. Posteriormente, analisar a distribuição do desmatamento nos mapas para estimar as datas futuras em que alguns dos impactos ambientais mais temidos podem aparecer e recomendar ações para a conservação.

Descrição da área

Grande parte da área central da “Amazônia brasileira” é cruzada de sudoeste a nordeste pelo interflúvio dos rios Purus e Madeira. Essa área forma uma larga faixa diagonal de lados paralelos de aproximadamente 800 km de comprimento por 150 km de largura, os rios que a limitam são o Rio Purus ao noroeste e Rio Madeira ao sudeste, e desembocam separadamente no extremo nordeste no Rio Amazonas (Figura 2).

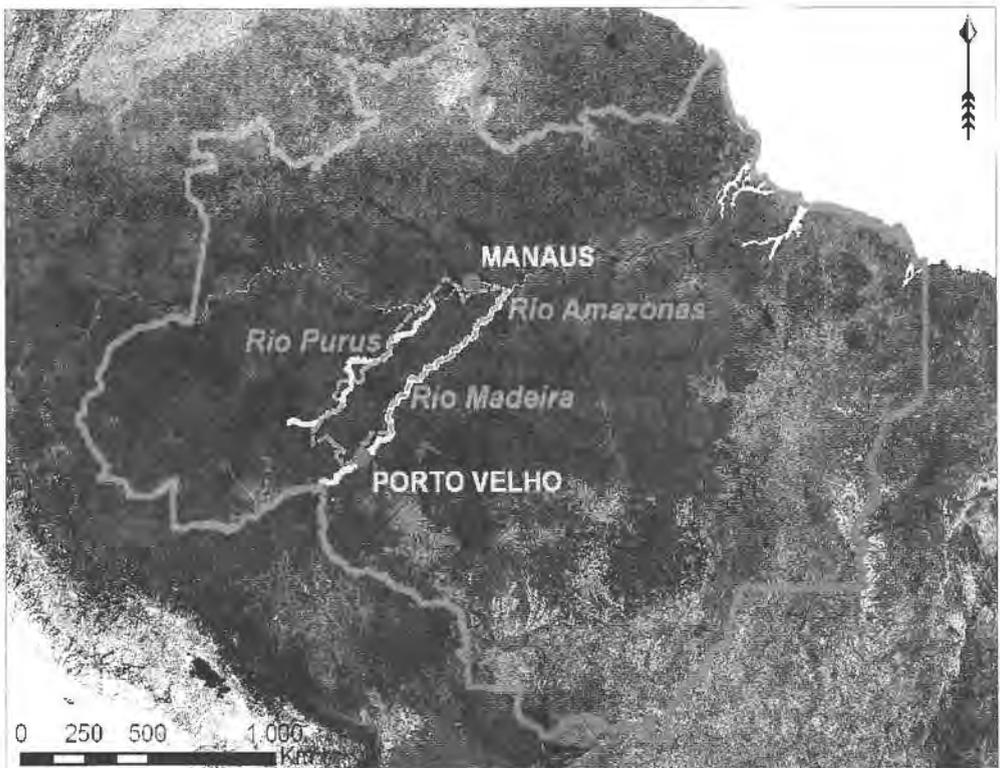


Figura 2. Amazônia brasileira e o corredor delimitado pelo interflúvio dos rios Purus e Madeira

Esse interflúvio se encontra em áreas de alta pluviometria. Em sua porção central as chuvas alcançam 2500 mm por ano, 1500 mm no setor sul e na porção norte 2000 mm, com temperaturas médias anuais de 27° e alta umidade. Essa condição hídrica produz uma densa rede hidrográfica formada por numerosos igarapés e lagos. Na região central do interflúvio encontra-se um mosaico de formações vegetais que incluem florestas de terra-firme, florestas de inundação, algumas manchas de “cerrado”, “campinas” e vegetação herbácea sobre solos arenosos, (Figuras 3 a 5).



Figura 3. Vegetação de “campinas”, na região central, e “várzea”, na região norte, da área de influência da BR-319



Figura 4. Dois dos numerosos riachos que atravessam o traçado central da rodovia BR-319



Figura 5. Estado atual do trecho central da rodovia BR-319. (a) Destruição total da pavimentação asfáltica, e em (b) um dos numerosos igarapés com pontes em condições precárias

Em duas viagens do Projeto GEOMA em 2007, foram encontradas quatro novas espécies de aves, três de mamíferos e algumas dezenas de aracnídeos desconhecidos. Essa biodiversidade é alta e se estende ao longo da região pelas características particulares do interflúvio (Silva *et al.*, 1992; Cohn-Haft, 2003). A fauna é diversificada com alta ocorrência de endemismo, e o número de mamíferos chega a 165 espécies das quais mais de 80 são morcegos (Cohn-Haft *et al.* 2007). A avifauna supera 572 espécies, incluindo as migratórias estacionais como tucanos, grandes louros e papagaios (McGinlei, 2007). Essa alta diversidade também é esperada nos rios e igarapés da região. Embora menos estudados, os igarapés de águas escuras da região são criadouros de peixes e mantém alta diversidade de organismos.

Na década de 70 foi construída a rodovia BR-319, como objeto da estratégia de ocupação da Amazônia pelo governo militar. Ao longo dos primeiros anos, por efeito do clima quente e úmido, e da ausência de manutenção, o asfaltamento deteriorou-se rapidamente. Diante do estado atual, e dos novos objetivos de desenvolvimento econômico, o Governo Federal anunciou sua intenção de pavimentar a BR-319. A situação de abandono e profunda deterioração do setor central da estrada (Figura 5) exige que a reconstrução seja tratada como um novo projeto e, portanto, sujeita aos procedimentos regulamentares de licenciamento ambiental vigentes (Fearnside, 2006).

Aos planos de reconstrução da parte central, tem-se agregado planos para comunicar a rodovia com as cidades de Manicoré na margem do Rio Madeira e Tapauá na margem do Rio Purus. Frente a isso, o Governo do Estado de Amazonas e o Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Governo Federal, estabeleceram planos para criação de unidades de conservação na área de abrangência da rodovia (Nelson *et al.*, 2006), de forma a minimizar os efeitos do traçado da estrada sobre os numerosos igarapés e nascentes ao longo de seu eixo.

Apesar da deterioração da estrada e da baixa aptidão agrícola de muitas áreas com Alisolos crômicos e Plintossolos háplicos com uma camada litólica que dificulta o uso agropecuário de maquinaria, já existem algumas explorações no centro da área da ALAP. As expectativas despertadas pelo avanço das obras de infra-estrutura têm acelerado o avanço de pequenos desmatamentos na margem do traçado. Esses são dos denominados “posseiros”, pequenos colonos que tomam posse de terras fiscais e mantêm uma atividade agropecuária mínima no terreno. Essa atividade garante em certa medida a futura apropriação das terras. Muitas vezes essa atividade é dificultada pela falta de comunicação para o transporte de produtos durante todo o ano e principalmente durante a estação chuvosa (Figura 6). As expectativas de valorização das terras também têm aumentado o número de “grileiros” (grupos que se apropriam ilegalmente de grandes extensões de terras forjando a documentação).



Figura 6. Campos de soja (a) e gado bovino (b) próximos à região central do interflúvio Purus-Madeira

As obras de infraestrutura possivelmente serão acompanhadas de uma atividade mais intensa de implantação de pastagens e cultivos de soja, atividades que se adaptam a solos pobres e degradados (Costa, 1982). Os principais danos ambientais que este cultivo produz estão relacionados com o desmatamento inicial, porém, posteriormente, a perda de solos e o consumo de defensivos agrícolas podem produzir danos maiores na região.

Materiais

A informação utilizada para configurar os cenários iniciais é oriunda de uma base de dados espaciais multi-temática de diferentes origens e características, recompilada e integrada num Sistema de Informações Geográficas (SIG). Dessa base de dados, foram extraídas para variáveis de entrada do modelo os seguintes mapas: 1) mapa de desmatamento dos anos 1998 e 2004 da região de Porto Velho originado do sistema de monitoramento do desmatamento do governo brasileiro PRODES (INPE); 2) mapa de solos; 3) mapa de vegetação; 4) mapa de rodovias e estradas; 5) mapa da hidrografia; 6) mapas topográficos; 7) mapa de cidades e povoados; 8) mapa de rios navegáveis; 9) mapa de áreas protegidas (IBGE, 1993); 10) mapas de áreas atrativas para a agropecuária; 11) mapa dos projetos de construção de estradas dos Planos Federais e Estaduais. Também foi utilizada a informação georreferenciada de levantamento de campo realizado em setembro de 2006 e do voo sobre a área pelo Projeto GEOMA em 2006.

O modelo AGROECO foi desenvolvido sobre a plataforma Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*). O software Vensim 3.0 (Ventana, 2003) foi utilizado para a programação do modelo de simulação não espacial, posteriormente acoplado com o modelo espacial na plataforma Dinamica EGO.

Método

A simulação utilizou o modelo AGROECO 2008 e foi executada sobre um cenário Business As Usual (BAU). Esse cenário assume que as atuais medidas de proteção ambiental da região se manterão ao longo da simulação.

Mecanismo da simulação: Uma primeira etapa da simulação é a chamada de “Calibração e extração dos pesos de evidência”. Nessa operação se obtém a matriz de transição onde são obtidas as taxas de desmatamento, “clearing” (a classe floresta em regeneração é cortada para reutilizar a área) e recuperação. Estas são as taxas em que as classes do mapa de uso passam de floresta e recuperação a não floresta. Essa matriz é obtida comparando mapas de anos passados numa região próxima que já sofreu os processos de desmatamento que são esperados na região do estudo. Nesse caso a matriz obtida na região Porto Velho-Humaitá (Rondônia) é aplicada na região Purus-Madeira. Na mesma região são obtidos os “Pesos de evidência”. Esses pesos são uma série de dados expressos como tabelas extraídas em base à superposição de mapas com informação ambiental da área. Estas são processadas ponto a ponto utilizando estatística multivariada para obter as evidências sobre a importância de cada uma destas variáveis ambientais, na probabilidade de desmatamento que tem cada célula (Garcia, 2004). São exemplos destas análises: a importância do tipo de solo, pente do terreno ou distância às estradas sobre a probabilidade de desmatamento de uma célula em particular.

Módulo de entrada: o modelo utiliza como entrada um mapa de uso e uma série de mapas de variáveis ambientais da área modelada (tipo de solo, vegetação, declividade, rios, estradas, entre outros). Além dessas entradas o modelo necessita iniciar com a matriz de transição que no decorrer da simulação será modulada pelo modelo não espacial acoplado Vensim (Ventana, 2003). A estrutura interna do modelo pode ser observada na Figura 7, onde se apresentam esquematicamente os módulos principais do programa.

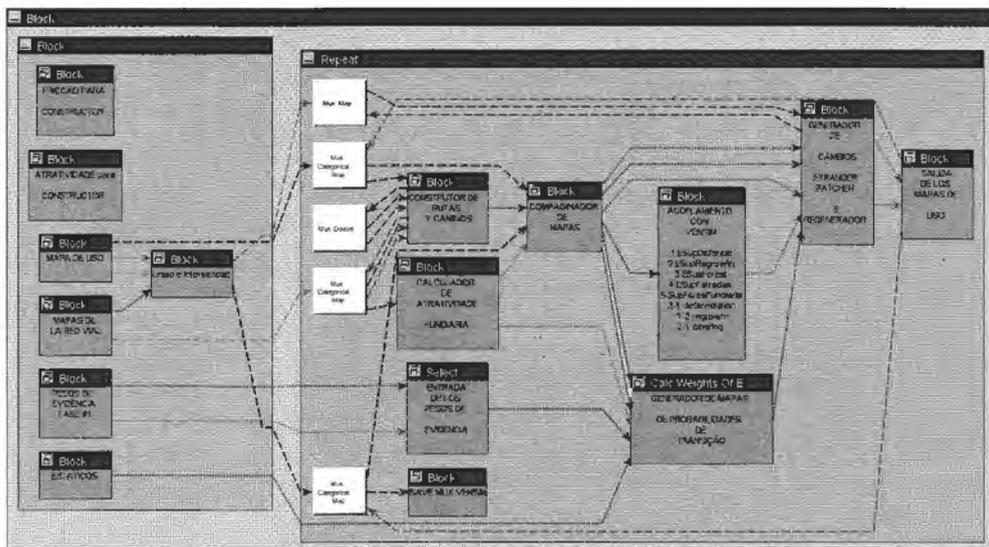


Figura 7. Representação esquemática do modelo “AGROECO” apresentado pelo Dinâmica EGO

Esse software é um ambiente de trabalho que permite a combinação de álgebra de mapas e outros operadores dispostos em diferentes formas para produzir o programa de modelagem espacial desejado. Nesse modelo de simulação, os mapas de variáveis ambientais de entrada são definidos como variáveis estáticas e participam ao final de cada ciclo para o cálculo do mapa de probabilidade. Nesse mapa cada célula possui uma probabilidade de ser desflorestada, cortada ou recuperada, como resultado de uma regressão multivariada das variáveis estáticas (Soares-Filho, 2003). O modelo possui uma rotina de construção de estradas que são incorporadas aos mapas processados para o cálculo da probabilidade que tem cada célula para ser desflorestada. Desta forma o cálculo utiliza além das variáveis estáticas, outras como distância às estradas, distância ao desmatamento e distância a centros povoados.

Nessa operação um dos mapas que é recalculado em cada ciclo da simulação é o de estradas. Para isso existe um módulo “construtor de estradas” que gera novos traçados. Esses são construídos com base na “atração” e nos “custos” de construção, cujos cálculos se baseiam na distribuição espacial de áreas atrativas, áreas protegidas e outros obstáculos. Para seu funcionamento o “construtor de estradas” considera muito atrativas áreas aptas para a agricultura e pouco atrativas as protegidas, e para definir seu traçado utiliza o conceito de custos para construção, com base na declividade do terreno e tipo de proteção da área. A atri-

dade do construtor tem três fases, uma muito ativa de penetração (construção de longos segmentos de estradas na floresta); e uma fase de consolidação de estradas, onde são construídos pequenos segmentos de estradas em áreas atrativas; e uma fase de construção de estradas projetadas (por exemplo, a estrada a Manicoré projetada para 2014, a Tapauá para 2017, entre outros projetos estaduais e federais).

Na medida em que se constroem novas estradas, uma rotina incorpora novas áreas que podem ser desflorestadas a 14 km das estradas. Conjuatamente, outra rotina gera superfícies de áreas fundiárias próximas, até 2 km das estradas, ocupadas principalmente por pequenos produtores que desflorestam áreas pequenas. A atividade desses ocupantes não depende das oscilações econômicas ou políticas consideradas no modelo. As áreas protegidas são pouco atrativas para a construção porque têm altos custos. Dessa forma as células dentro de áreas protegidas diminuem ainda mais a probabilidade de desmatamento. Terras indígenas, áreas de proteção integral e áreas de uso sustentável são resistentes ao desmatamento principalmente pela dificuldade da construção de estradas no seu interior.

Acoplamento do modelo espacial com Vensim: uma parte importante é a troca de variáveis com o modelo não espacial Vensim. Nessa troca são moduladas as taxas de transição para representar as mudanças na evolução das áreas. Durante a evolução de cada área existem atores como madeireiros, pecuaristas e agricultores que ocupam e exploram a floresta com diferente intensidade, aqui chamada de pressão de desmatamento. A pressão de cada ator vai depender da fase em que se encontra a região e de fatores econômicos e políticos que oscilam com o tempo. O modelo espacial simula duas fases para cada região: na primeira predominam a atividade madeireira e pecuária, e nelas, algumas variáveis ambientais, como o declive do terreno, não são importantes. Numa segunda fase, quando aumenta a importância da ocupação agrícola, a declividade é fundamental.

O modelo do desmatamento acoplado o software Dinâmica EGO com Vensim permitiu simular as variações temporais nas taxas de desmatamento, que são aplicadas em cada ciclo pelo modelo espacial. As variações temporais nas taxas são calculadas com base nas variações na pressão de madeireiros, pecuaristas e agricultores. Essas funções são coeficientes que afetam a capacidade máxima de devastação que cada ator tem, definidas por quilômetro de estrada. Com essas taxas de transição, as rotinas expansoras (“*expander*”) e retalhadora (“*patcher*”) do desmatamento geram o mapa correspondente a cada ano. Estas rotinas aumentam a superfície desflorestada e produzem novos pontos de desmatamento. Também produzem a recuperação de células de floresta e desmatamento de floresta secundária (“*clearing*”). O ajuste da matriz de transição inicial foi provado, comparando os resultados dos primeiros ciclos, em duas áreas menores da simulação, com uma detecção de mudanças feita com a técnica RCAN (Maldonado *et al.*, 2007a) em Santo Antônio do Matupí e em Apuí (Graça *et al.*, 2007; Maldonado *et al.* 2007b).

Finalmente, os mapas resultantes do modelo foram analisados visualmente para estimar a evolução temporal dos impactos ambientais e a distribuição do desmatamento e recomendar ações futuras como a localização para criação de áreas de proteção ambiental.

Resultados e discussão

O modelo gerou 43 mapas de uso, um para cada ano da simulação, e a evolução das áreas mostrou coerência. Numa análise preliminar da equipe de Agroecologia, os resultados foram similares aos apresentados anteriormente ao Governo do Estado de Amazonas. Os mapas finais para os anos de 2020 e 2050 são apresentados nas Figuras 8 e 9.

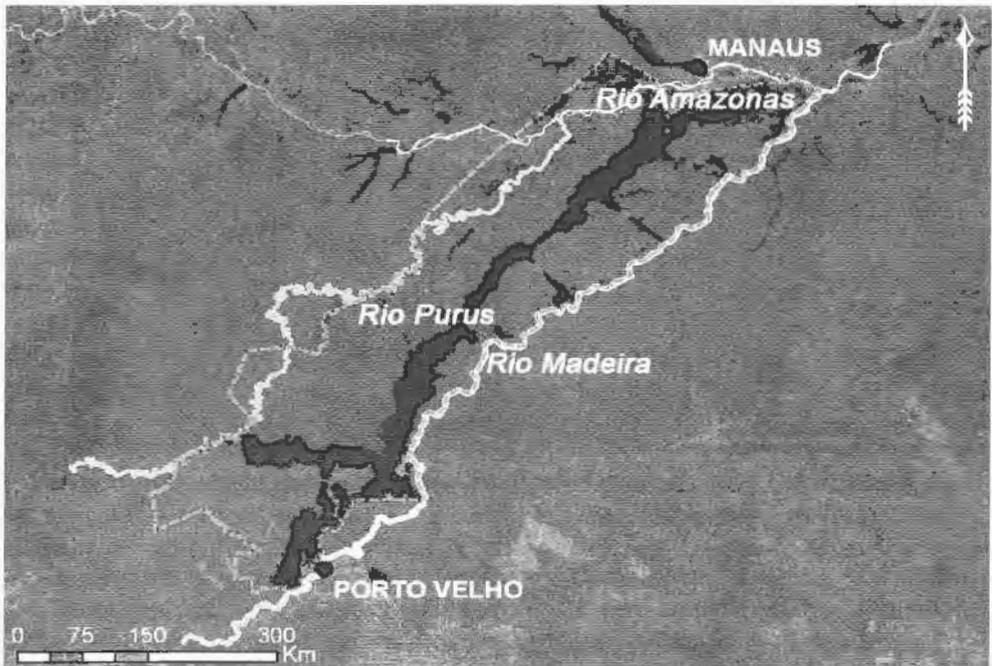


Figura 8. Mapa resultante da simulação correspondente ao ano 2020. Em linha pontilhada os limites da ALAP e em preto a superfície desflorestada

O modelo mostra que, a partir da pavimentação e consolidação da BR-319, até o ano 2050 serão desflorestados 5,4 milhões de hectares que formariam uma faixa sem floresta de 60 km em média, o que lamentavelmente criaria uma barreira para a migração de muitos animais e plantas (Cohn-Haft *et al.*, 2007). De acordo com a simulação, em 2020 a faixa desflorestada pela atividade antrópica produziria um corredor sem floresta de 15 km de largura em média (Figura 8).

Na simulação, a área desflorestada anualmente aumentou progressivamente até 2050. No ano 2010 a simulação apresentou desflorestamento de 1,7 milhões de hectares; em 2020 3,0 milhões; em 2030 3,9 milhões; em 2040, 4,7 milhões; e em 2050 (final da simulação) 5,4 milhões de hectares. Em 2050, os caminhos a Tapauá e Borba são responsáveis por grande parte do desmatamento na região central da ALAP. O desmatamento de uma eventual estrada até Manicoré é contido pelas áreas protegidas em ambos da estrada. Uma das áreas protegidas é de uso sustentável, que já tem demonstrado boa proteção contra os “grileiros” de terras.

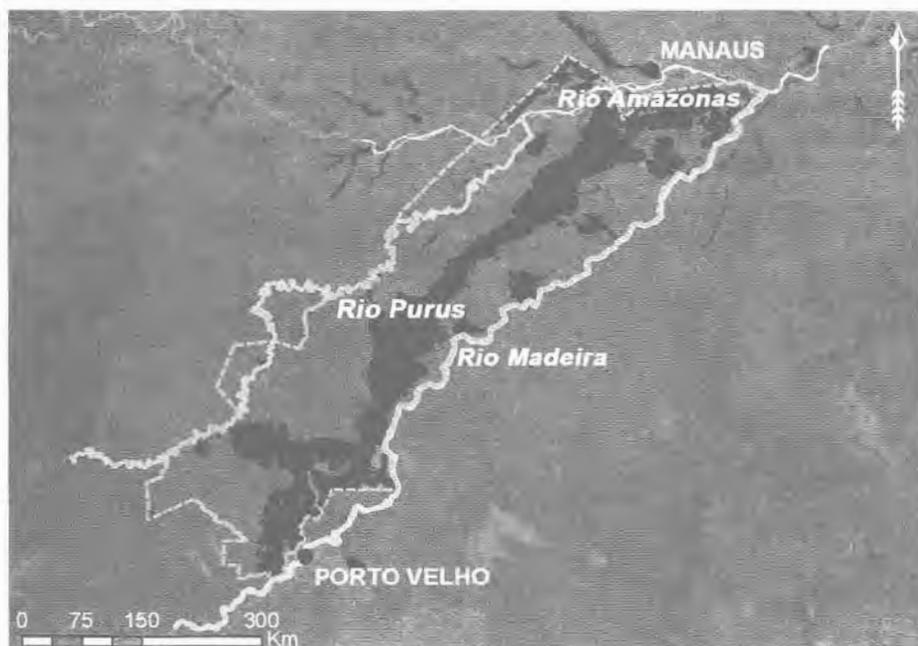


Figura 9. Resultados da simulação correspondente ao ano 2050. Em linha pontilhada os limites da ALAP e em preto a superfície desflorestada

Além da diversidade de animais e plantas, o interflúvio é rico em endemismos e sua divisão longitudinal em duas partes, pode significar uma longa lista de extinções de espécies de flora e fauna ao longo dos anos. Na simulação, a porção sul da rodovia BR-319 teria uma ampla área ocupada por culturas de soja e pecuária bovina, como ocorre na região de Porto Velho. Na porção norte, próxima a Manaus, o futuro mais provável seria o uso agropecuário diversificado, característico das áreas próximas as grandes cidades, como: produção de pequenos animais, hortaliças, frutas, laticínios e criadouros de peixes para consumo. A Figura 10 ilustra trechos em pavimentação da BR-319.



Figura 10. Maquinaria viária trabalhando no primeiro setor da rodovia BR-319. Em (a) setor entre Careiro Castanho e Igapó Açu, quase completamente asfaltado, em (b) setor Igapó Açu – Rio Tupana em recuperação

Conclusões e recomendações

A construção completa da estrada BR-319 parece inevitável (neste momento já estão em construção o primeiro e último trecho, conforme ilustra a Figura 10), fazendo com que a consolidação de áreas protegidas seja crucial para a integridade da floresta amazônica. O governo tem uma série de áreas de preservação propostas que podem desacelerar o desmatamento. Com base na análise dos resultados da simulação ora apresentada, é também recomendável a criação de pequenas áreas de proteção integral com forma alongada e paralela à estrada; como mostra o modelo, essas áreas protegidas podem ser efetivas como barreira para proteção de áreas maiores, e mais importantes, situadas a distâncias maiores do eixo da rodovia.

Espera-se grande impacto ambiental a partir de 2020, visto que o desmatamento produzido por essa obra ocupará grande quantidade de nascentes de rios no interflúvio Purus-Madeira. Com a retirada da mata, agricultura mecanizada e pecuária, aumentará a perda de solos; e o assoreamento dos rios alterará o ambiente aquático. Para evitar a excessiva largura da faixa desflorestada, poderia se definir áreas de proteção ambiental no lado noroeste da estrada após uma delimitação “fundiária” de 2 km a cada lado da estrada. Assim se produziria uma faixa desflorestada de no máximo 4 km na área central. Também áreas de proteção ao norte da BR-319 podem controlar a forma da ocupação de lagos e áreas de inundação, como as áreas protegidas propostas em Igapó Açu. Em razão da pressão de ocupação da cidade de Manaus, estas áreas devem ser delimitadas o quanto antes para evitar a ocupação por “grileiros” e posseiros, e as consequentes dificuldades administrativas para a criação de áreas de proteção em áreas já ocupadas.

Numa simulação anterior apresentada ao Governo do Estado de Amazonas foi mostrado que num “cenário de conservação” com a criação de novas reservas além das existentes, o desmatamento seria reduzido em 1,6 milhões de hectares ou 310 milhões de toneladas de carbono, na forma de CO₂ equivalente, em emissões de gases de efeito estufa (Fearnside *et al.*, 2007).

O modelo “Agroeco”, como qualquer outro, depende de uma série de presunções sobre o comportamento dos atores que produzem o desmatamento. Esse modelo é muito influenciado pelas áreas de pequenos agricultores. Se espera que futuras melhorias no modelo possam representar melhor os papéis dos grandes atores (legais e ilegais), cujas ações podem resultar num desmatamento mais rápido das áreas desprotegidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Amazonas – FAPEAM e CNPq pelas bolsas DCR e DTI e Projetos DCR e CNPq/PPG-7, e ao INPA (INPA: PPI 851 1-1005) pelo suporte financeiro e ao Agro Paris Tech ENGREF Ministère des Affaires Étrangères, pela bolsa de cooperação EGIDE Lavoisier. Nossos agradecimento também ao Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do Instituto de Geociências/UFMG, ao Projeto Geoma/INPE e seus pesquisadores.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR A.P., 2006. Modeling Land Use Change in the Brazilian Amazon: Exploring InterRegional heterogeneity. *PHD Thesis*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Sao José dos Campos. Brasil. 153 p.
- COHN-HAFT, M. 2003. Potencial ornitológico do baixo Rio Purus. In: Claudia Pereira de Deus, Ronis da Silveira, Lucia H. Rapp Pi-Daniel. (Org.). *Piagacu-Purus: Bases científicas para a criação de uma reserva de desenvolvimento sustentável*. Manaus: Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, p. 75-76.
- COHN-HAFT, M., PACHECO, A.M.F., BECHTOLDT, C., TORRES, M.F.N., FERNANDES, A.M., SARDELLI, C.H., MACEDO, I.T. 2007. Inventário ornitológico. In: Rapp Pi-Daniel, L., Deus, C. P., Henriques, A. L., Pimpão, D. M., Ribeiro, O. M.. (Org.). *Biodiversidade do médio Madeira: bases científicas para propostas de conservação*. Manaus: INPA.
- COSTA J. A., MARCHEZAN E., 1982. *Características dos estádios de desenvolvimento do soja*. Campinas: Fundação Cargill. 30 p.
- OLIVEIRA A.U., 2005. BR-163 Cuiabá-Santarém. Geopolítica, grilagem, violência e mundialização. In: Torres, M. (Org.) *Amazônia revelada: os descaminhos ao longo da BR-163*. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Brasília. Brasil. 397-423.
- DUKE, A., and G A. BLACK. 1953. Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 25: 1-46.
- FEARNSIDE P. M., 2005. Carga Pesada: O custo ambiental de asfaltar um corredor de soja na Amazônia. In: Torres, M. (Org.) *Amazônia revelada: os descaminhos ao longo da BR-163*. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Brasília. Brasil. 397-423.
- FEARNSIDE P. M., GRAÇA P.M.L.A., 2006. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management*, 38, p. 705-716.
- FEARNSIDE P. M., 2006. O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira. In: Fortine, L.; Murrieta, R. (Orgs.). *Amazônia 500 Anos. O V Centenário e o Novo Milênio: Lições de História e Reflexões para uma Nova Era*. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, Pará. Brasil. 263-306.
- FEARNSIDE, P.M., GRAÇA, P.M.L.A., KEIZER, E.W.H., MALDONADO, F.D., BARBOSA, R.I., NOGUEIRA, E.M. 2007. Desmatamento e emissões de carbono projetadas para o sul do Amazonas, Brasil: resultados de modelagem do desmatamento e emissões no Município de Apuí e na área da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319) no período 2007-2050. *Relatório para Iniciativa Amazonas (IA)*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS), Governo do Estado de Amazonas, Brasil.
- FEARNSIDE, P.M. 2008. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(1): 101-114.
- GARCIA, R.A., SOARES-FILHO B.S., MORO S., 2004. Modelagem espacial do desmatamento amazônico. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP. *Anais*. Caxambu, Brasil. 20-24 de Setembro.

- GRAÇA, P.M.L.A., MALDONADO, F. D., FEARNSSIDE, P.M. 2007. Detecção de desmatamento em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens CBERS-2. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais*. Florianópolis, Brasil. 21-26 de Abril.
- HERMANN O.R., SOARES-FILHO B.S., SOUZA COSTA W.L., 2007. Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais*. Florianópolis, Brasil. 21-26 de Abril.
- IBGE -FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. 1993. *Mapa de vegetação do Brasil*. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, Brazil.
- MALDONADO, F. D., SANTOS, J.R., GRAÇA, P.M.L.A. 2007a. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p.1789-1804.
- MALDONADO, F. D., GRAÇA, P.M.L.A., FEARNSSIDE, P.M. 2007b Detecção de mudanças na cobertura vegetal da floresta amazônica utilizando a técnica RCEN multiespectral com imagens CBERS-2, região de Apuí-AM. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. *Anais*. Florianópolis, Brasil. 21-26 de Abril.
- MCGINLEY, M. 2007. "Purus-Madeira moist forests." In: *Encyclopedia of Earth*. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). Published in the Encyclopedia of Earth. Url: http://www.eoearth.org/article/Purus-Madeira_moist_forests. Visitado em Fevereiro, 2008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006. *Consultas públicas para criação de unidades de conservação na região de entorno da BR-319 (Manaus- Porto Velho), Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP)*. Brasília. Brasil. 12 p.
- NELSON B., ALBERNAZ A.L.M., SOARES-FILHO, B.S. 2006. Estratégias de Conservação para o Programa ARPA. *Relatório de Atividades*. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Áreas Protegidas, Ministério do Meio Ambiente. Brasília: Brasil. 69 p.
- SCHLAMADINGER B., BIRD N., BROWN S., CANADELL J., CICCARESE L., CLABBERS B., DUTSCHKE M., FIEDLER J., FISCHLIN A., FEARNSSIDE P.M., FORNER C., FREIBAUER A., FRUMHOFF P., HOEHNE N., JOHNS T., KIRSCHBAUM M.U., LABAT A., MARLAND G., MICHAELOWA A., MONTANARELLA L., MOUTINHO P., MURDIARSO D., PENA N., PINGOUD K., RAKONCZAI Z., RAMETSTEINER E., ROCK J., SANZ M.J., SCHNEIDER U., SHVIDENKO A., SKUTSCH M., SMITH P., SOMOGI Z., TRINES E., WARD M., IAMAGATA I. 2007. A synopsis of land use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords. *Environmental Science & Policy*, 10, 271-282.
- SILVA, A. L. L., P. L. B. LISBOA, and U. N. MACIEL. 1992. Diversidade florística e estrutura em floresta densa da bacia do Rio Juruá-AM. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica* 8: 203-258.
- SOARES-FILHO B.S., 2003. Modelagem da dinâmica de paisagem: concepção e potencial da aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. In: Albermaz A., Silva J.M.C., Valeriano D. (Eds). *Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais*. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém. Pará. Brasil.

SOARES-FILHO, B. S., RODRIGUES, H., COSTA, W.. *Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO*. Available at www.csr.ufmg.br/dinamica. 2009. Acesso em 20/04/2009.

SOARES-FILHO B.S., NEPSTAD D.C., CURRAN L.M., CERQUEIRA GC., GARCIA R.A., RAMOS C.A., MCDONALD E.V.A., LEFEBVRE P., SCHLESINGER P., 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 440, 1010-1038.

TEXEIRA, A. M.; SOARES FILHO, B. S.; FREITAS, S.; METZGER, J. P. W. Modeling landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1219-1230, 2009.

VENTANA, 2003. *Vensim software – linking systems thinking to powerful dynamic models*. Available at <http://www.vensim.com/software.html>. Accessed in 20/04/2009.