Maior produção brasileira de Tambaqui, atividade de piscicultura localizada no interior de Roraima

5 AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO

CAPÍTULO 11

MODELAGEM DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA NO BRASIL: 2000-2050[1]

Aline Cristina Soterroni
Fernando Manoel Ramos
Aline Mosnier
Alexandre Xavier Ywata de Carvalho
Gilberto Câmara
Michael Obersteiner
Pedro Ribeiro Andrade
Ricardo Cartaxo Souza
Marina Garcia Pena
Rebecca Mant
Johannes Pirker
Florian Kraxner
Petr Havlik
Valerie Kapos

1 INTRODUÇÃO[2]

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC) incentiva países em desenvolvimento a reduzir as emissões provenientes do setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (*Land Use, Land Use Change and Forestry* – LULUCF), com programas incentivados de redução de desmatamento e degradação florestal, chamados coletivamente de REDD+.[3] A UNFCCC solicitou aos países que queiram obter reconhecimento dos seus esforços nacionais de REDD+ o desenvolvimento de um plano de ação nacional. Neste plano, os países devem

1. Agradecimentos: o desenvolvimento do modelo GLOBIOM-Brasil foi financiado, no período 2012-2016, pela International Climate Initiative, do governo da Alemanha. Parte do trabalho de Gilberto Câmara foi realizada quando esse pesquisador ocupou a Cátedra Brasil na Universidade de Münster, com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Gilberto Câmara teve ainda suporte da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) (grant 2014-08398-6) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (grant 312151-2014-4). Os autores agradecem os comentários de José Eustáquio Reis e de participantes em seminários apresentados na Fapesp, no Global Landscape Forum (2015), na Associação Nacional dos Cursos de Pós-Graduação em Economia (Anpec) (2015), no Ministério do Meio Ambiente (MMA), na Universidade de Santa Bárbara e no Ipea. Os resultados remanescentes são de responsabilidade apenas dos autores.

2. Os dados de entrada e as projeções do modelo GLOBIOM-Brasil, bem como relatório detalhado sobre o modelo e seus resultados, estão disponíveis em: <http://www.redd.pac-org>.

3. REDD+ refere-se à Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal além da conservação florestal, manejo florestal sustentável e aumento dos estoques de carbono em áreas de floresta.

informar seu nível de Referência Nacional de Emissões Florestais (*Forest Reference Emission Level* – Frel). Espera-se que os países disponham de um sistema nacional robusto e transparente de monitoramento florestal, e assim possam reportar suas ações de REDD+ de forma verificável. Os países também deverão informar como as salvaguardas previstas pela convenção estão sendo respeitadas. Estes elementos foram solicitados pela primeira vez na 16ª Conferência das Partes (COP-16) da UNFCCC (UNFCCC/COP-16 2010) e, posteriormente, confirmados como parte do Marco de Varsóvia para REDD+ durante a UNFCCC/COP-19.

O projeto *REDD+ Policy Assessment Centre* (REDD-PAC) tem o objetivo de ajudar o Brasil a definir suas políticas de REDD+ e seus planos para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) do setor LULUCF. Os resultados deste estudo foram obtidos por meio do modelo de uso da terra GLOBIOM-Brasil desenvolvido pelo International Institute of Applied System Analysis (IIASA) e adaptado pela equipe brasileira do projeto, constituída por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e do Ipea. A United Nations Environment Program-World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) contribuiu com uma análise detalhada dos possíveis impactos das mudanças do uso da terra sobre a biodiversidade. Os modelos de mudança de uso e cobertura da terra são ferramentas importantes para o planejamento de políticas públicas relacionadas a essa área. Esses modelos avaliam quais fatores impulsionam as mudanças, quais regiões estão mais susceptíveis a pressões, e como políticas e ações podem mudar as projeções futuras das mudanças do uso da terra. Além disso, esses modelos podem ser usados para estimar os impactos sobre emissões, produção agrícola e biodiversidade.

1.1 Níveis de referência de emissões: decisões da UNFCCC e a submissão brasileira

A Conferência das Partes da UNFCCC definiu os níveis de referência de emissões florestais (Frel) como: "referenciais para avaliar o desempenho de cada país na implementação das atividades de REDD+" (UN, [s.d.]). A UNFCCC fornece diretrizes para a elaboração da submissão de níveis de referência (Frel), que devem:

1) Manter a consistência com inventários nacionais de gases de efeito estufa (UNFCCC, 2012, Decisão 12/CP.17, parágrafo 8).

2) Fornecer informações sobre o Frel (UNFCCC, 2012, Decisão 12/CP.17, parágrafo 9 e anexo). Os países devem apresentar informações sobre os dados utilizados e as circunstâncias nacionais que foram consideradas. Espera-se que as informações sobre os conjuntos de dados, abordagens, métodos, modelos e descrições de políticas e planos relevantes sejam

transparentes, completos, consistentes, comparáveis e precisos.[4] As informações fornecidas devem permitir a reconstrução do Frel.

3) Permitir uma abordagem, passo a passo, usando um Frel subnacional como medida interina (UNFCCC, 2012, Decisão 12/CP.17, parágrafos 10 e 11). As decisões permitem que os países expandam os seus Frels a partir de um nível subnacional – um bioma, por exemplo – até se cobrir toda a área florestal nacional. A UNFCCC também permite que o Frel seja aperfeiçoado ao longo do tempo por meio da incorporação de melhores dados e metodologias.

O Brasil foi o primeiro país a submeter um nível de referência de emissões florestais à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima. Essa submissão tem como foco o bioma Amazônia, no qual a coleta minuciosa de dados sobre as mudanças de cobertura florestal vem sendo realizada desde 1988. A base da submissão brasileira se constitui dos compromissos voluntários assumidos durante a COP-15 em Copenhague, Dinamarca, de redução do desmatamento na Amazônia em 80% em relação à média do período 1996-2005. O Brasil está cumprindo bem esse compromisso, uma vez que o desmatamento na Amazônia caiu de 27.700 km² em 2004 para 5.100 km² em 2012, ou seja, uma redução de 82%.[5]

A submissão de Frel brasileira é limitada ao bioma da Amazônia e não faz compromissos para depois de 2020. Os resultados obtidos do modelo GLOBIOM-Brasil compreendem simulações de longo prazo com abrangência nacional. O modelo simula as mudanças do uso da terra de forma espacialmente explícita e conjunta para todos os biomas brasileiros, considerando tanto políticas internas quanto a relação comercial entre países. Os cenários ajudam a identificar diferentes compromissos do uso da terra para a agricultura e a preservação florestal. Os resultados são gerados de forma desagregada por células espaciais de simulações, permitindo a apresentação de indicadores de uso do solo e emissões em diferentes agregações geográficas – Unidades da Federação (UFs), macrorregiões, biomas etc. Dessa forma, pode-se ajudar o Brasil a construir futuras submissões dos níveis de referência que levem em consideração a totalidade das emissões brasileiras provenientes do setor LULUCF.

4. Princípios de transparência, consistência, comparabilidade, integralidade e precisão (do inglês, TCCCA).

5. O Brasil tem um sistema de informação confiável que fornece uma avaliação anual do desmatamento bruto na Amazônia Legal gerada pelo Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Prodes) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), órgão vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

1.2 Políticas de biodiversidade no Brasil

O Brasil é um dos países mais ricos em biodiversidade do mundo e se tornou um líder mundial nos esforços de conservação da biodiversidade. O Congresso Nacional ratificou a Convenção sobre Diversidade Biológica das Nações Unidas (Convention on Biological Diversity – CDB) em 1994 (Decreto Legislativo nº 2/1994), que posteriormente tornou-se uma Lei de Biodiversidade.[6] Junto com as leis existentes e relevantes para a conservação da biodiversidade, incluindo o Código Florestal (CF) e a Lei de Proteção à Fauna, essas ações configuraram uma estratégia nacional de biodiversidade.

O governo brasileiro estabelece a sua legislação nacional sobre a biodiversidade de acordo com cada um dos seis biomas existentes no país. A criação de áreas protegidas é a principal estratégia para a conservação da biodiversidade no país, embora ocorra uma grande variação da área total sob proteção em cada bioma – variando, por exemplo, de ≈ 3% da área total do Pampa até ≈ 47% da Amazônia.

Em 2013, o Brasil lançou as Metas Nacionais de Biodiversidade para 2020, que se baseiam nas Metas de Aichi para a Biodiversidade (Brasil, 2013). Essas metas, desenvolvidas por meio de uma iniciativa denominada *Diálogos sobre Biodiversidade: Construindo a Estratégia Brasileira para 2020*, incluem:

- redução da perda de *habitat* nativos em pelo menos 50% em relação às taxas de 2009 (Meta 5);
- expansão da cobertura do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) em pelo menos 30% da Amazônia e 17% de cada área terrestre dos outros biomas (Meta 11);
- redução do risco de extinção de espécies ameaçadas (Meta 12); e
- aumento da resiliência de ecossistemas e da contribuição da biodiversidade para estoques de carbono, por meio de ações de conservação e recuperação de pelo menos 15% dos ecossistemas degradados (Meta 15).

1.3 A submissão das metas brasileiras à COP-21

Em outubro de 2015, o governo brasileiro submeteu sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinadas (INDC) ao secretariado da UNFCCC (Brazil, 2015). O Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa abaixo dos níveis de 2005 em 37% até 2025, e 43% até 2030.[7] As ações do Brasil

6. Decreto nº 4.339/2002.

7. Adotando uma meta de mitigação absoluta no nível de toda a economia, o Brasil seguirá uma modalidade de contribuição mais rigorosa, se comparada às suas ações voluntárias pré-2020.

são significativas e reduziram em 41% as emissões do país em 2012, em relação aos níveis de 2005, em termos de GWP-100.[8]

A contribuição do Brasil é consistente com os níveis de emissões de 1,3 GtCO2e (GWP-100) em 2025, e 1,2 GtCO2e (GWP-100) em 2030, correspondendo, respectivamente, a uma redução de 37% e 43% em relação aos níveis de emissões em 2005 de 2,1 GtCO2e (GWP-100) (Brazil, 2015). A submissão brasileira mostra que o país possui um grande programa de biocombustíveis, além de já ter reduzido as taxas de desmatamento na Amazônia brasileira em 82% entre 2004 e 2014. A atual matriz energética brasileira consiste em 40% de energias renováveis – 75% de renováveis na oferta de energia elétrica.

A INDC do Brasil determina as seguintes medidas domésticas:

1. aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e ampliando a parcela de biodiesel na mistura do diesel;
2. no setor florestal e de mudança do uso da terra:
   a. fortalecer o cumprimento do Código Florestal em âmbito federal, estadual e municipal;
   b. fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de gases de efeito estufa provenientes da supressão legal da vegetação até 2030;
   c. restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares (Mha) de florestas até 2030, para múltiplos usos; e
   d. ampliar a escala de sistemas de manejo sustentável de florestas nativas, por meio de sistemas de georreferenciamento e rastreabilidade aplicáveis ao manejo de florestas nativas, com vistas a desestimular práticas ilegais e insustentáveis;
3. no setor da energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo:
   a. expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia de 28% a 33% até 2030;

8. GWP-100 é a métrica-padrão do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para o Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP) em cem anos.

b. expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar; e

c. alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030;

4. no setor agrícola, fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 Mha de pastagens degradadas até 2030 e pelo incremento de 5 Mha de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (iLPF) até 2030;

5. no setor industrial, promover novos padrões de tecnologias limpas e ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono; e

6. no setor de transportes, promover medidas de eficiência, melhorias na infraestrutura de transportes e no transporte público em áreas urbanas. (Brasil, [s.d.], p. 3-4).

Os cenários do modelo GLOBIOM-Brasil estão totalmente de acordo com a submissão da INDC do Brasil. Eles foram definidos e implementados a partir de uma sólida interação com a equipe do Ministério do Meio Ambiente (MMA), um dos responsáveis pela elaboração da INDC. Os resultados do cenário *Forest Code* (FC), apresentados a seguir, foram usados pelo governo brasileiro como parte de seu trabalho no desenvolvimento de projeções de emissões pelo setor de mudança de uso e cobertura da terra, que fazem parte da INDC do Brasil.

Além desta introdução, tem-se a organização de mais cinco seções. A seção 2, discute o modelo de equilíbrio parcial para uso do solo GLOBIOM, e sua adaptação para o Brasil. A seção 3 apresenta os cenários alternativos considerados nas simulações, com ênfase em itens do novo Código Florestal brasileiro. A seção 4 apresenta os principais resultados para trajetórias especializadas de uso e cobertura do solo no Brasil, até 2050. A seção 5 trata, especificamente, das trajetórias futuras de emissões, considerando diferentes alternativas de políticas públicas. Conclusões e comentários finais são apresentados na seção 6.

2 O MODELO GLOBIOM E SUA ADAPTAÇÃO PARA O BRASIL

O modelo GLObal BIOsphere Management model (GLOBIOM)[9] é um modelo econômico de equilíbrio parcial que utiliza estratégia de baixo para cima (*bottom--up*), com foco nos principais setores relacionados às mudanças de cobertura e uso do solo: agropecuária, floresta e bioenergia. Este modelo tem sido desenvolvido no IIASA desde 2007 (Havlik Schneider e Schmid, 2011), seguindo a mesma base do modelo ASM-GHG (Schneider Mccarl e Schmid, 2007).

As principais características do GLOBIOM são as relacionadas a seguir.

1) *Modelo de equilíbrio de mercado*: o GLOBIOM é construído sobre os pressupostos da teoria neoclássica.[10] Ajustes endógenos nos preços de mercado implicam igualdade entre oferta e demanda para cada produto e região. O equilíbrio é único, ou seja, os agentes não têm interesse em mudar suas ações, uma vez que o equilíbrio é alcançado.

2) *Modelo de otimização*: o objetivo do problema de otimização é o de maximizar a soma dos excedentes econômicos dos consumidores e dos produtores. Os preços não são explícitos, mas são obtidos da solução dual das equações de balanço de mercado.[11]

3) *Modelo de equilíbrio parcial*: o GLOBIOM tem como foco os setores de agricultura, pecuária, florestas e bioenergia. Os outros setores da economia não estão incluídos no modelo. Os setores da agropecuária e florestas estão integrados no modelo e competem pelo uso da terra.

4) *Modelo de equilíbrio espacial de preço*: é uma categoria específica dos modelos de equilíbrio parcial e de programação linear, sendo útil na análise de fluxos inter-regionais de *commodities* (Samuelson, 1952, Takayama e Judge, 1971). O modelo se baseia na suposição de que as mercadorias são homogêneas e, dessa forma, a diferença de preço entre duas possíveis regiões é dada apenas pelo custo de transporte.[12] Essa característica permite a representação de fluxos de comércio bilaterais entre regiões.

5) *Modelo dinâmico recursivo*: o GLOBIOM é executado para intervalos de tempo de dez anos através de dinâmica recursiva. Ao contrário de modelos totalmente dinâmicos, os agentes econômicos não consideram os valores futuros dos parâmetros ao longo de vários períodos de tempo. A decisão

9. Mais informações sobre o modelo GLOBIOM estão disponíveis em: <www.globiom.org>.

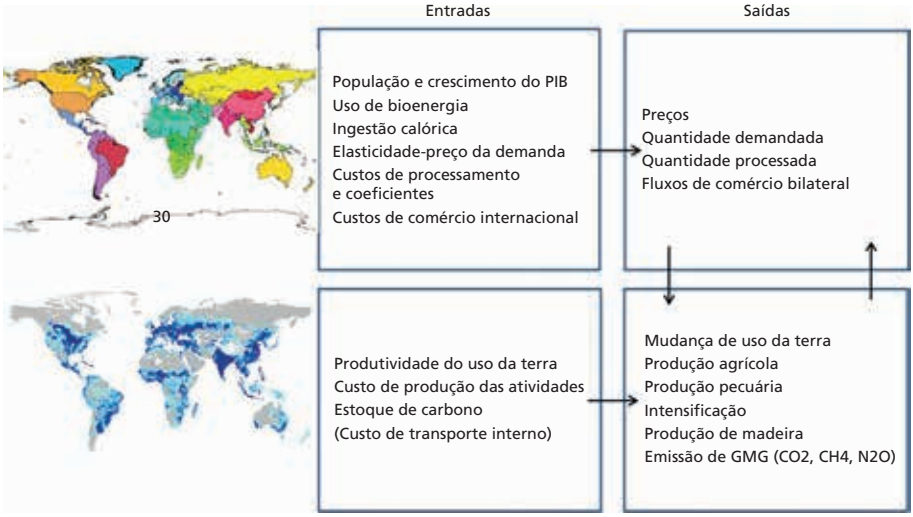
10. Os agentes são racionais e tomam decisões que maximizam os seus benefícios. À medida que os agentes compram ou vendem mais produtos, os incrementos de satisfação se tornam menores.

11. A solução satisfaz as restrições discretas de igualdade e desigualdade. O GLOBIOM possui funções não lineares que são linearizadas por partes (McCarl e Spreen, 2007).

12. A solução de equilíbrio é encontrada pela maximização da diferença entre a área total abaixo da curva de excesso de demanda em cada região e o custo de transporte total.

ótima tomada no período *t* depende apenas de decisões que os agentes tomaram no período *t-1*. No início de cada novo período, as condições iniciais do uso da terra são atualizadas a partir das soluções obtidas no período anterior. O modelo é atualizado para cada período de simulação por meio de fatores exógenos, como o crescimento do produto interno bruto (PIB) e o da população.

FIGURA 1
Principais entradas e saídas do modelo GLOBIOM para diferentes escalas



Elaboração dos autores.

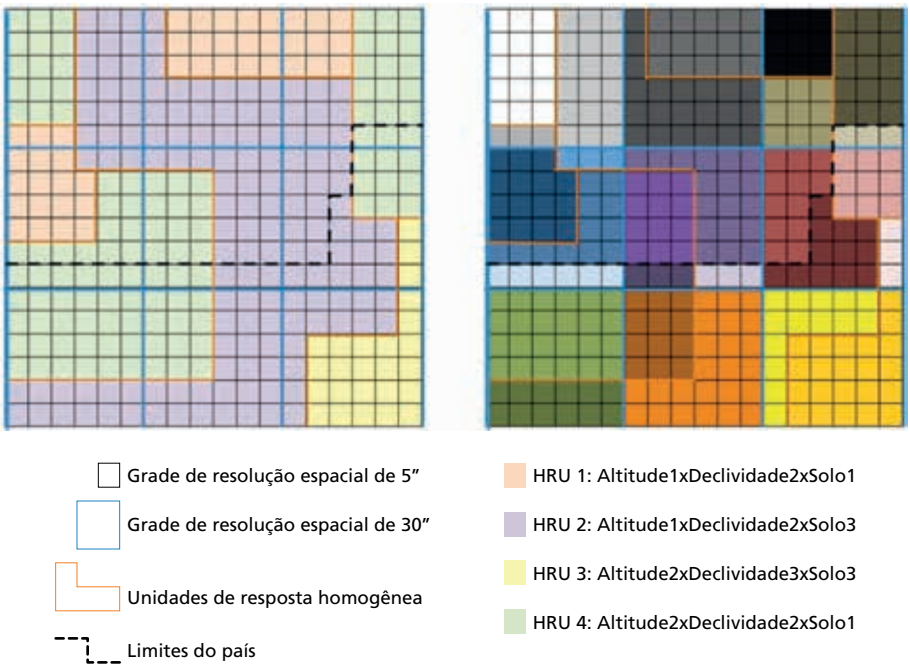
A originalidade do GLOBIOM vem da representação dos fatores (*drivers)* de mudança do uso da terra em duas escalas geográficas diferentes, como mostrado na figura 1. Todas as variáveis relacionadas à terra, como a mudança do uso da terra, o cultivo de culturas, a produção madeireira e os números da pecuária, são expressas de acordo com as variáveis locais. A demanda final, as quantidades de processamento, os preços e o comércio são obtidas em um nível regional. No GLOBIOM, fatores regionais influenciam a alocação do uso do solo em nível local. As restrições locais influenciam no resultado das variáveis definidas no âmbito regional. Isto garante uma coerência completa entre as várias escalas.

A resolução espacial mínima usada no GLOBIOM é a de uma célula de 5'x5', o que corresponde a uma área de aproximadamente 10km x 10km no Equador.[13] Nesta escala espacial, o modelo define unidades de resposta homogênea (*homogeneous response units* – HRU). A HRU é um conjunto de células de 5'x 5' que possuem as

13. O tamanho da célula varia entre 100 mil hectares no Equador e cerca de 10 mil hectares em altas latitudes.

mesmas características de altitude, declividade e tipo de solo. Esses conjuntos são definidos a partir das possíveis combinações de cinco classes de altitude, sete classes de declividade e cinco classes de tipos de solo (Skalsky, Tarasovicova e Balkovic, 2008). As HRUs definem as restrições físicas do modelo relacionadas ao tipo de paisagem ou terreno.

FIGURA 2
Elementos espaciais usados na delimitação das características homogêneas do terreno (esquerda) e a definição das unidades de simulação (direita)



Elaboração dos autores.

A cobertura terrestre está dividida em 212.707 *unidades de simulação*, polígonos com tamanhos que variam em uma grade de resolução espacial entre 5' e 30' (figura 2). Essas unidades são intersecções de uma grade de resolução espacial de 30'x 30', com uma grade de HRUs e as fronteiras dos países. Essas unidades de simulação são a base espacial de todo o *cluster* de modelagem do GLOBIOM, que também inclui o modelo biofísico Environmental Policy Integrated Climate (EPIC) (Williams, 1995) nas estimativas da produtividade da agricultura, e o modelo de crescimento de florestas G4M (Kindermann *et al.*, 2008).

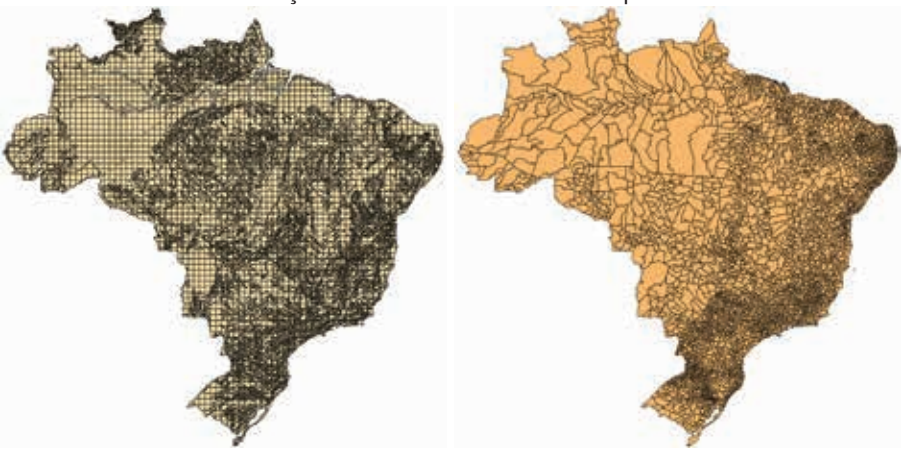
O GLOBIOM representa a produção de áreas de cultivo agrícola, áreas de pastagens, áreas de florestas manejadas e áreas de florestas de rotação curta (florestas plantadas). O modelo inclui dezoito tipos de culturas, cinco produtos florestais

e seis produtos pecuários (quatro tipos de carne, ovos e leite). Os sistemas de produção da pecuária contemplam cinco espécies animais diferentes e têm como base o trabalho desenvolvido pelo International Livestock Research Institute da Food and Agriculture Organization of the United Nations (Ilri/FAO) (Notenbaert et al., 2009; Seré, Steinfeld e Groenewold, 1995). Os dados da pecuária utilizam modelos baseados em processos para os ruminantes. Os dados para animais monogástricos são baseados na literatura e no conhecimento de especialistas da área. Os tipos de produção são do tipo *Leontief* – ou seja, os fatores produtivos são utilizados em proporções fixas. Mudanças nas características tecnológicas da produção de produtos primários são consideradas, permitindo que vários tipos de produção possam ser utilizados pelo modelo – desde agricultura de subsistência até agricultura intensiva, por exemplo.

2.1 Adaptação regional do modelo GLOBIOM

O GLOBIOM é um modelo global que também pode ser utilizado na análise detalhada de casos regionais (Mosnier, Havlík e Obersteiner, 2014).[14] A estratégia *bottom-up* da construção do banco de dados do GLOBIOM permite uma resolução espacial flexível das atividades relacionadas ao uso da terra, além de uma agregação flexível dos países em regiões.

FIGURA 3
Unidades de simulação e municípios do Brasil
3A – Unidades de simulação 3B – Municípios



Elaboração dos autores.

14. Modelos regionais são mais fáceis de serem validados em países que possuem levantamentos agropecuários anuais, como é o caso do Brasil.

Em um estudo regional, é possível capturar melhor os principais fatores das mudanças locais de uso da terra. Conjuntos de dados regionais específicos são reunidos para substituir informações mais agregadas de bases de dados globais, incluindo mapas nacionais de cobertura da terra, estatísticas em nível subnacional, além de políticas regionais de uso do solo. Os custos de transporte são calculados através das unidades de simulação para cada *commodity*.

Existem 11.003 unidades de simulação no Brasil (figura 3A). Dado que muitas estatísticas estão disponíveis no nível municipal, uma das primeiras tarefas foi a de calcular a interseção de cada unidade de simulação com cada município (figura 3B). Para efeito de comparação, existem 5.565 municípios no Brasil. Dessa forma, uma unidade de simulação pode se espalhar por vários municípios, e um município pode se espalhar por várias unidades de simulação. O nível de resolução final da grade – durante o processo de otimização – é um conjunto de células de 30' (cerca de 250 mil hectares), ou seja, as unidades de simulação são agregadas sobre as HRUs. Esta agregação resulta em 3.001 unidades espaciais no Brasil, em que o uso da terra e as respectivas mudanças são calculados de forma endógena pelo modelo.

Ao longo do projeto, para se chegar a resultados consistentes para o Brasil, efetuou-se uma coleta cuidadosa de dados para atualizar as informações do GLOBIOM para o país. O ano base do modelo é 2000 – ano para o qual há informações consolidadas para praticamente todos os países do mundo –, e o modelo é executado recursivamente, gerando novas estimativas de produção agropecuária, área plantada, número de animais, desmatamento etc., a cada dez anos. Os dados brasileiros foram atualizados a partir de uma combinação de informações de uso e cobertura do solo do mapa de vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano 2000, de remanescentes de florestas do SOS Mata Atlântica, de áreas protegidas, de conservação, de florestas públicas, de terras indígenas do MMA, de produção agrícola referenciada na Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE), de produção pecuária coletada na Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM/IBGE), de cobertura e uso do solo do *Modis*, bem como de florestas plantadas a partir do Censo Agropecuário 2006 do IBGE. A equipe do projeto construiu um algoritmo próprio para compatibilização entre dados de uso e cobertura do solo de satélite e dados de produção agropecuária a partir de pesquisas com produtores.[15]

3 CENÁRIOS DO MODELO GLOBIOM-BRASIL

A adaptação do modelo GLOBIOM para o Brasil envolveu não somente a inclusão de dados atualizados específicos para o país, de forma espacialmente explícita, mas também um conjunto de aperfeiçoamentos para representar as regras indicadas

15. Para mais detalhes, acesse o relatório completo em: <http://www.redd-pac.org/reports/lucbrazil.pdf>.

no novo Código Florestal brasileiro. Os itens do Código Florestal considerados na modelagem e os aperfeiçoamentos correspondentes estão descritos a seguir.

3.1 Implementação dos dispositivos do Código Florestal no GLOBIOM-Brasil

O Código Florestal brasileiro, aprovado pelo Congresso Nacional em 2012, introduz restrições ao desmatamento da vegetação nativa em terras privadas. As regras do Código Florestal implementadas na versão atual do GLOBIOM-Brasil incluem:

1) *Recomposição de reserva legal (RL)*: a reserva legal define o percentual mínimo de cobertura florestal ou vegetação nativa a ser preservado por cada propriedade rural. Se a cobertura florestal do imóvel rural for menor que o percentual exigido de RL, a cobertura natural desta propriedade será compensada ou recomposta às custas do proprietário. O percentual de reserva legal varia entre 80% na Amazônia a 20% em outros biomas (figura 4A). Para as unidades de simulação do GLOBIOM-Brasil, os percentuais de reserva legal foram calculados a partir do dado fornecido por Soares-Filho *et al*. (2014).

2) *Anistia de pequenas propriedades (SFA)*:[16] essa anistia isenta os pequenos proprietários da necessidade de recuperação das reservas legais em imóveis menores ou iguais a 4 módulos fiscais.[17] O limite de tamanho para as pequenas fazendas é definido por município, variando de 20 ha no sul do Brasil a 440 ha na Amazônia (figura 4B).

3) *Cotas de Reserva Ambiental (CRA)*: CRA é um título legal negociável de excedentes de vegetação nativa. O excedente de floresta de um imóvel pode ser utilizado para compensar um débito de reserva legal em outra propriedade no mesmo bioma.

4) *Ações de comando e controle*: essas ações incluem desmatamento ilegal zero de todas as áreas protegidas pelo Código Florestal, e a aplicação da lei em relação aos requerimentos da reserva legal. Fazendas com áreas desmatadas depois de 2008 e acima do limite permitido pela reserva legal terão que recuperar a sua cobertura florestal, ou adquirir cotas de reserva ambiental para compensar os seus débitos.

16. Utilizou-se o acrônimo de *Small Farms Amnesty* (SFA) para indicar o uso desse dispositivo nos nossos cenários.

17. "O número de módulos fiscais é obtido por meio da divisão da área total do imóvel rural pelo módulo fiscal de cada município, que é fixado em hectares e leva em consideração: *i*) o tipo de exploração prevalecente no município; *ii*) a renda obtida com esta exploração; e *iii*) as outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam significativas em função da renda ou da área utilizada e o conceito de propriedade familiar. Seu cálculo visa determinar o tamanho e a classificação dos imóveis rurais em minifúndio, pequena, média e grande propriedade para fins de políticas públicas." (Vieira Filho, 2013). As informações sobre a estrutura agrária no Brasil estão disponíveis em: <http:\\www.incra.gov.br>.

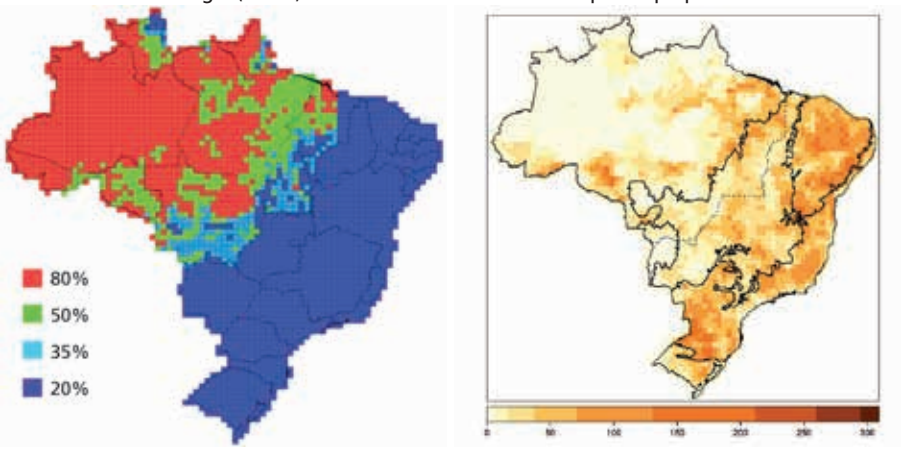
O governo brasileiro está preparando uma regulamentação para esclarecer questões pendentes sobre a implementação do Código Florestal. Um tópico fundamental é saber se as pequenas propriedades que possuem débitos de reserva legal, mas ainda com alguma cobertura florestal, poderiam usar essas áreas de floresta como cotas e colocá-las no mercado. Acredita-se que essa utilização dos remanescentes florestais de pequenos proprietários não será possível. É entendido que essa possibilidade se dê como um mau uso da anistia concedida pelo Código Florestal ("não se pagam débitos com débitos"). Assim, seguem-se tais orientações nos cenários, não se permitindo que pequenas propriedades com áreas abaixo do limite de reserva legal disponibilizem a cobertura florestal remanescente como cotas de reserva ambiental.

Uma segunda questão fundamental é sobre as propriedades privadas cujos proprietários perderam seus direitos de posse quando novas áreas de preservação foram criadas em suas fazendas. Alguns destes proprietários ainda não foram compensados financeiramente pelo governo federal. Há uma demanda para incluir essas áreas no mercado de cotas. Os proprietários que perderam suas terras e não foram indenizados receberiam cotas de reserva ambiental como compensação. Esse assunto também foi discutido pelo governo, e encontra-se em debate. Sem informações precisas sobre essa disputa legal, e agindo sob orientação das partes interessadas, os cenários do GLOBIOM-Brasil não incluem estimativas dessas áreas de preservação na contabilização da oferta de cotas.

FIGURA 4

Reserva legal[1] e área estimada de pequenas propriedades nas unidades de simulação do GLOBIOM-Brasil

4A – Reserva legal (em %) 4B – Pequenas propriedades



Fonte: Soares-Filho *et al*. (2014).
Elaboração dos autores.
Nota: [1] Os percentuais de reserva legal foram gerados a partir dos dados de Soares-Filho *et al*. (2014).

A versão atual do GLOBIOM-Brasil não inclui áreas de preservação permanente (APPs), que têm como objetivo a conservação dos recursos hídricos e a prevenção da erosão do solo. Esse dispositivo será incorporado em futuras versões do modelo.

3.2 Débitos e excedentes de reserva legal

Uma informação crucial para qualquer modelo de mudança do uso da terra que seja aplicado ao Brasil é o tamanho da reserva legal por propriedade. As estimativas de possíveis desmatamentos legais e de regeneração florestal nas propriedades dependem de dados precisos sobre as dívidas e os excedentes de reserva legal. Por esta razão, o Código Florestal criou o Cadastro Ambiental Rural (CAR). O CAR é um registro eletrônico obrigatório para todas as propriedades rurais e visa integrar as informações ambientais dessas propriedades. Quando todas as propriedades estiverem registradas e verificadas, o CAR fornecerá informações que permitirão a aplicação das leis ambientais. No entanto, a implementação do CAR ainda não está completa, e mesmo as informações já obtidas não estão disponibilizadas. Dessa forma, as estimativas de débitos e excedentes de reserva legal do GLOBIOM-Brasil foram calculadas com base em algumas suposições.

A primeira suposição diz respeito à destinação das terras públicas, terras fora de áreas protegidas e sem proprietários designados. Considera-se que, em todos os estados brasileiros, com exceção do Amazonas, toda a terra que não é protegida é, ou será, propriedade privada. No estado do Amazonas, existe uma área considerável de terras públicas que ainda não foram destinadas, seja para áreas protegidas, seja para proprietários privados. Com as discussões em aberto com o governo brasileiro, espera-se que as regulamentações do Código Florestal impeçam que essas áreas sejam privatizadas. Dessa forma, em comum acordo com as partes interessadas, assumiu-se nos cenários que apenas 20% das terras públicas no estado do Amazonas se tornarão propriedades particulares.

A segunda suposição está relacionada à falta de informação sobre os limites das propriedades. Para calcular a quantidade de terra a ser restaurada, foram contabilizados os débitos ou excedentes florestais dentro de cada célula (aproximadamente 50 km x 50 km no equador). Primeiro, as áreas protegidas são subtraídas de cada célula e, em seguida, calculou-se o total de vegetação nativa ainda existente nas propriedades no interior da célula. Se essa área for menor que a quantidade exigida pela regra de reserva legal, a célula terá um débito.

Dentro de cada célula, não se sabe exatamente quanto dos débitos e dos excedentes de vegetação estão localizados dentro ou fora das pequenas propriedades. Assumiu-se que uma quantidade relativa percentual dos débitos ou excedentes dentro de pequenas propriedades é a mesma que a quantidade relativa fora delas. Os excedentes ou débitos de pequenas propriedades S_i^{sf} dentro de uma célula *i*

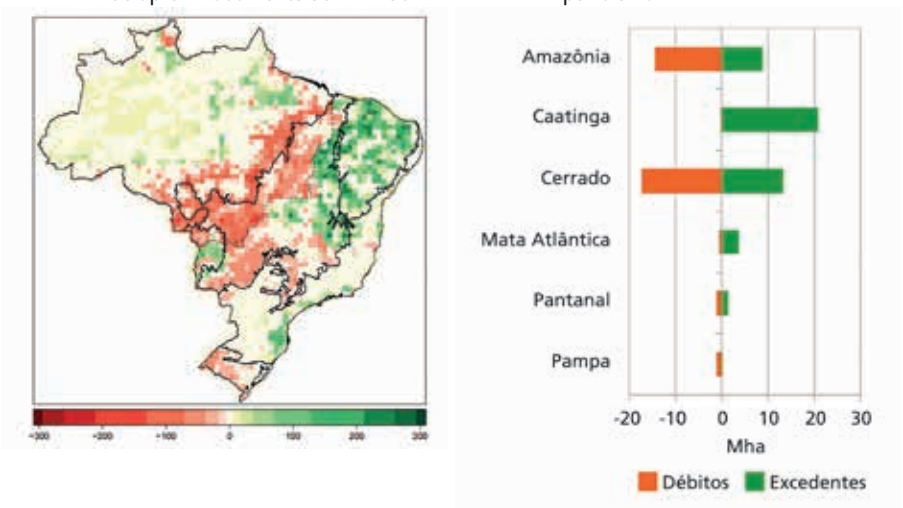
foram estimados como $S_i^{sf} = S_i \times p_i^{sf}$, em que, p_i^{sf} é a porcentagem da área de pequenas propriedades dentro da célula *i;* e S_i é o total de débito ou excedente de vegetação dentro de tal célula. A porcentagem p_i^{sf} foi estimada a partir de estatísticas sobre o tamanho das propriedades com base no Censo Agropecuário 2006 do IBGE e nos tamanhos dos módulos fiscais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra).

No cálculo dos débitos, toda vez que um cenário inclui a anistia de pequenas propriedades (SFA), a área alocada para as pequenas fazendas é descontada do débito de vegetação na mesma célula. Isso garante que a vegetação nativa existente em uma pequena propriedade com débito (mas anistiada) não será usada para reduzir o débito de grandes propriedades. Em outras palavras, apenas os excedentes são trocados por dívidas ("dívidas não podem ser pagas com dívidas"), uma interpretação do novo Código Florestal defendida pelo MMA. Os débitos e excedentes de reserva legal no Brasil em 2010 são mostrados na figura 5.

FIGURA 5
Débitos e excedentes de reserva legal no Brasil para os cenários do Código Florestal (2010)

5A – Em milhares de hectares por células de aproximadamente 50 km x 50 km

5B – Em milhões de hectares (Mha) por bioma



Elaboração dos autores.

Os maiores débitos ocorrem na região conhecida como *arco do desmatamento*, localizado na Amazônia Legal e, especialmente, na parte do estado do Mato Grosso, que pertence ao bioma Cerrado. O estoque de excedentes no bioma Caatinga é grande devido ao baixo nível de requerimento de reserva legal (apenas 20%). A Mata Atlântica é neutra, sem débitos significativos, devido ao grande número de pequenas propriedades que estão isentas de restauração florestal.

3.2 Visão geral dos cenários

Os cenários apresentados neste capítulo capturam as políticas de uso do solo consideradas pelo MMA. As simulações consideram as opções de políticas sobre o uso da terra no Brasil, a economia baseada na terra, a redução de emissões e os impactos sobre a biodiversidade. Existe uma significativa incerteza sobre os detalhes das regulamentações associadas ao Código Florestal. Esperava-se que regras claras para a determinação e negociação das cotas de reserva ambiental fossem promulgadas pelo governo brasileiro no final de 2015, mas até agora isso não aconteceu. Dessa forma, os cenários do GLOBIOM-Brasil transmitem, principalmente, formas alternativas de implementação do Código Florestal.

FIGURA 6
Cenários do modelo GLOBIOM-Brasil

BAU *Business* as Usual	FC *Forest* Code	FCcropCRA	FCnosFA	FCnoCRA
Cenário contra factual Código Florestal não é aplicado Não há reflorestamento Aplicação da lei da Mata Atlântica	Não há desmatamento ilegal Recuperação da reserva legal Cotas de reserca ambiental (CRA) Anistia de pequenas propriedas Aplicação da lei da Mata Atlântica	Código Florestal considerando a compra de CRA apenas por fazendeiros (com débito de RL) que cultivam produtos agrícolas	Código Florestal sem a anistia para pequenas propriedades	Código Florestal sem a cota de reserva ambiental (CRA)

Elaboração dos autores.

3.3.1 *Business as usual*

O cenário *Business as usual*[18] (BAU) representa a situação ambiental do Brasil no ano 2000, em que não existia o controle efetivo do desmatamento. Este cenário permite o desmatamento ilegal (além do desmatamento legal) em todos os biomas, com exceção da Mata Atlântica.[19] Trata-se de abordagem contrafactual para medir os principais efeitos do Código Florestal e assim não inclui os dispositivos do código.

As taxas de desmatamento obtidas pelo modelo refletem as projeções de fatores (*drivers*) importantes como o crescimento da população e do PIB, a rede de infraestrutura de transportes e as mudanças de tecnologia nas próximas décadas.

18. Uma tradução para esse cenário pode ser dada por "os negócios de sempre".
19. A Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006), que dispõe sobre a utilização e proteção da mata nativa ao bioma supracitado, é aplicada no modelo depois do ano 2000 e as taxas de desmatamento no bioma estão sob controle em todas as décadas.

O cenário BAU do GLOBIOM-Brasil não inclui as medidas de regeneração florestal definidas pelo novo Código Florestal brasileiro.

3.3.2 Código Florestal (FC)

O cenário do Código Florestal captura a implementação do novo Código Florestal do Brasil aprovado em 2012. Para construir esse cenário, tomou-se como base o cenário BAU para o período 2000-2010. No período 2011-2050, aplicou-se a proibição sobre o desmatamento ilegal. Depois de 2020 aplicam-se as seguintes ações: *i*) restauração florestal para atender as exigências de reserva legal; *ii*) anistia das pequenas propriedades (SFA); e *iii*) cotas de reserva ambiental.

Foram realizadas análises de sensibilidade do modelo aos dispositivos do Código Florestal tomados individualmente. Dessa forma, foram construídas as variações do cenário FC descritas a seguir.

3.3.3 Código Florestal com cotas aplicadas apenas na compensação de áreas de agricultura (FCcropCRA)

O incentivo para a compra de cotas depende dos custos de oportunidade de cada fazendeiro. Os proprietários de terras com alto custo de oportunidade são mais propensos a compensar os débitos das reservas legais por meio da compra de cotas. Já os proprietários de terras com baixo custo de oportunidade são mais propensos a reflorestar, passiva ou ativamente, em vez de comprarem cotas de reserva ambiental.

A criação de gado no Brasil abrange uma área muito grande. Em alguns locais, como no Cerrado, há menos de uma cabeça de gado por hectare. Esta situação surgiu porque a terra era abundante e barata, e a aplicação das leis não era eficaz. É muito provável que, nas próximas décadas, as ações de comando e controle sejam mais eficientes, e que os agricultores em biomas como o Cerrado e a Amazônia sejam impedidos de práticas antigas e que, dessa forma, tenham que investir em aumento de produtividade do rebanho. Isso trará benefícios múltiplos para grandes criadores de gado, principalmente se essas práticas de aumento de produtividade forem reconhecidas pelo mercado e certificadas pelo governo.

Por causa da pouca intensificação presente na criação de gado no Brasil, e da possibilidade de aumentar a quantidade de cabeças por hectares em um futuro próximo, considerou-se a situação em que os pecuaristas não irão enfrentar custos de oportunidade elevados o suficiente para justificar a compra de cotas que compensem as suas reservas legais. Para isso, construiu-se um cenário em que apenas os agricultores (e não os pecuaristas) com *deficit* de reserva legal estariam interessados em comprar cotas. Neste caso, o investimento de capital feito para estabelecer grandes lavouras e plantações é plausível de ser compensado com os custos de aquisição de cotas.

3.3.4 Código Florestal sem a anistia de pequenas propriedades (FCnoSFA)

O Código Florestal isenta os pequenos proprietários da necessidade de recuperar a área de reserva legal. A definição de uma "pequena propriedade" varia nacionalmente e é determinada em escala municipal. Uma pequena fazenda no estado de Santa Catarina (região Sul do Brasil) tem, em geral, cerca de 80 ha. No estado do Amazonas (região Norte do Brasil), uma pequena propriedade pode chegar a 400 ha – ou aproximadamente quatrocentos campos de futebol. No entanto, a isenção das pequenas propriedades do cumprimento da reserva legal está sob discussão judicial. O tribunal decidirá se será legal isentar alguns fazendeiros da obrigação de manter uma reserva legal. Dessa forma, as comparações dos resultados do cenário FC com os resultados obtidos para este cenário (FCnoSFA) permitem medir a influência da anistia dos pequenos proprietários, principalmente, na produção agropecuária e na regeneração florestal.

3.3.5 Código Florestal sem as cotas de reserva ambiental (FCnoCRA)

Neste cenário, as cotas de reserva ambiental foram retiradas do cenário FC. O estoque de excedentes de vegetação nativa em cada célula de um bioma é utilizado por meio do mecanismo CRA para reduzir, ou até mesmo eliminar, o *deficit* local. Células com maiores *deficit* são compensadas prioritariamente, e células com *superavit* maiores são utilizadas primeiro para compensar os débitos. A comparação dos resultados deste cenário com os resultados do cenário FC permite isolar a influência do mecanismo de CRA sobre o desmatamento futuro no Brasil, quando outras medidas do código florestal estarão implementadas.

3.4 Resumo

Os cenários aqui descritos estão resumidos na tabela 1.

TABELA 1
Cenários do modelo GLOBIOM-Brasil

	BAU	FC	FC cropCRA	FC noCRA	FC noSFA
Lei da Mata Atlântica	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Desmatamento ilegal	-	Não	Não	Não	Não
Terras privadas no Amazonas (%)	-	20	20	20	20
Anistia de pequenas propriedades	-	Sim	Sim	Sim	Não
CRA em áreas agrícolas	-	Sim	Sim	Não	Sim
CRA em áreas de pecuária	-	Sim	Não	Não	Sim
Reflorestamento	-	Sim	Sim	Sim	Sim

Elaboração dos autores.

O GLOBIOM-Brasil permite investigar a eficácia, ao longo do tempo, de diferentes dispositivos do Código Florestal não só na Amazônia, mas em todo o Brasil. A flexibilidade para implementar diferentes cenários – com e sem anistia ou cotas, por exemplo – permite não apenas o estudo da influência direta de uma dada política sobre as taxas de desmatamento no Brasil ou sobre a produção agropecuária, mas também eventuais vazamentos (*leakage*) sobre os biomas, além dos impactos indiretos sobre a biodiversidade.

4 MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DA TERRA: 2020-2050

Nesta seção, apresentam-se os resultados das projeções do GLOBIOM-Brasil entre 2000 e 2050. Estas projeções mostram como os fatores das mudanças do uso da terra estão inter-relacionados e como as diferentes medidas adotadas pelo Código Florestal podem influenciar a relação entre produção e preservação.

O GLOBIOM-Brasil é calibrado com os dados do ano 2000, utilizados como condição inicial, e é simulado recursivamente para períodos de dez anos até 2050. As projeções do modelo para o ano 2010 foram utilizadas para validação, realizada por meio de comparações com informações disponíveis para o mesmo ano. As informações utilizadas para comparação na validação incluem: *i*) área colhida de quinze culturas representadas no GLOBIOM-Brasil[20] disponível na PAM/IBGE; *ii*) número de cabeças na produção pecuária obtidos pela PPM; e *iii*) mapa do desmatamento acumulado na Amazônia fornecido pelo projeto Prodes/Inpe no período 2001-2010. Os resultados obtidos na validação se mostraram consistentes, e deram suporte para as projeções dos anos seguintes.[21] Para as décadas a partir de 2020, portanto, foram realizadas projeções de mudanças na cobertura e uso da terra, bem como projeções para a produção dos diversos produtos diretamente relacionados ao uso do solo.

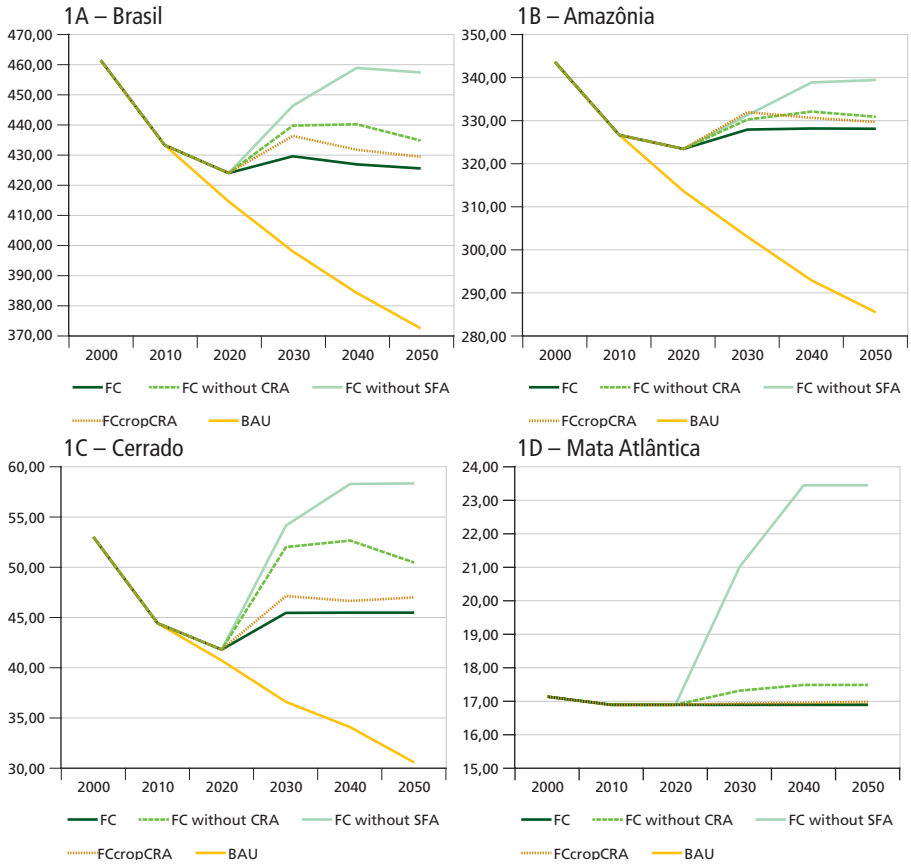
4.1 Evolução da cobertura florestal

A área total de florestas no Brasil, a qual inclui florestas maduras, florestas manejadas e florestas regeneradas, está prevista para se estabilizar, ou até mesmo aumentar, em 2050, quando comparada aos níveis de 2010, em decorrência da implementação do Código Florestal (gráfico 1).

20. O GLOBIOM representa a produção agrícola de dezoito culturas. Porém, para o ano 2000, as lavouras de grão-de-bico, milhete e colza não estão disponíveis na PAM/IBGE e, consequentemente, essas culturas não estão representadas no modelo.

21. Para mais detalhes a respeito da validação do modelo, ver o relatório completo em: <http://www.redd-pac.org/reports/lucbrazil.pdf>.

GRÁFICO 1
Evolução da área total de florestas, projetada em diferentes cenários
(Em Mha)



Elaboração dos autores.

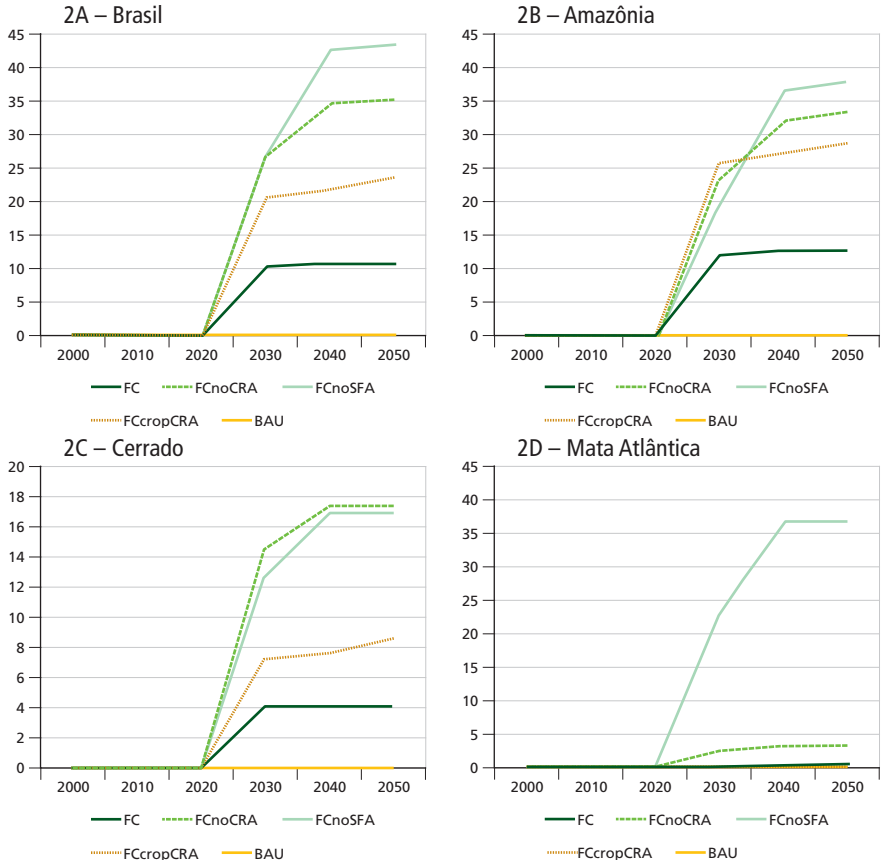
A implementação dos principais dispositivos do Código Florestal (cenário FC) aumenta a área total de florestas em todo o Brasil em 32 Mha em 2030 e 53 Mha em 2050 em relação ao cenário BAU. Este aumento é consequência da proibição do corte de 42 Mha de florestas maduras aliada à regeneração florestal de 11 Mha em áreas ilegalmente desmatadas até 2050 em relação às projeções do cenário BAU. Se as ações de comando e controle e o reflorestamento realmente acontecerem, a estabilização dos estoques florestais e, em alguns casos, o seu aumento serão uma conquista bastante significativa. A cobertura florestal se estabiliza ou aumenta nos biomas da Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, mas diminui na Caatinga (11 Mha de florestas secas são perdidas entre 2010 e 2050). Devido às ações de comando e controle, o Código Florestal produz um efeito de "desmatamento zero" no bioma da Amazônia. O aumento do estoque total de

florestas no Brasil pode ser ainda maior sem o dispositivo de anistia de pequenas propriedades (SFA) e sem o CRA, como mostra o gráfico 1.

4.2 Regeneração florestal

As variações na área total de floresta são, em parte, consequências dos impactos que as diferentes medidas do Código Florestal têm sobre a regeneração florestal de terras que foram previamente desmatadas de forma ilegal (figura 8). A área total de regeneração florestal no Brasil deverá atingir 10,4 Mha em 2030 para o cenário FC, e então estabilizará, chegando a 11 Mha em 2050. Para o cenário BAU, esta área permanecerá como terras agrícolas ou pastagens, pois não existe nenhuma obrigação de regeneração florestal para este cenário.

GRÁFICO 2
Regeneração florestal, projetada pelos diferentes cenários
(Em Mha)

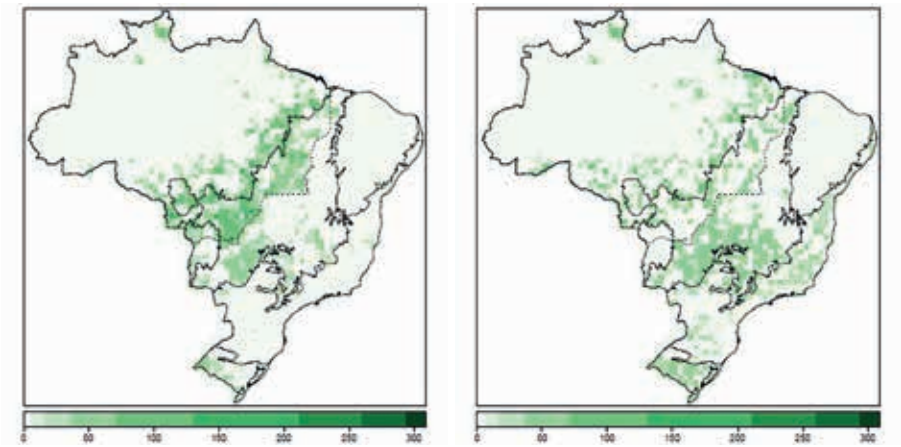


Elaboração dos autores.

O cenário do Código Florestal sem anistia de pequenas propriedades (FC-noSFA) obriga os pequenos fazendeiros a realizarem a regeneração florestal em terras previamente desmatadas de forma ilegal. Os incentivos positivos para que os pequenos proprietários promovam a regeneração podem ter um grande impacto. Este cenário proporciona a maior área total de florestas, com mais 17 Mha de florestas regeneradas em 2030 e mais 33 Mha em 2050, além dos valores previstos pelo cenário FC. Este ganho é maior na Amazônia (6 Mha), no Cerrado (9 Mha) e na Mata Atlântica (4 Mha). Devido à grande concentração de pequenas propriedades no bioma Mata Atlântica, a ausência da anistia aumenta a área total de florestas em 38% em relação aos valores projetados pelo cenário FC em 2050 (figura 7B).

FIGURA 7
Distribuição espacial da regeneração florestal no Brasil em 2030 para os cenários do Código Florestal sem cotas e sem anistia de pequenas propriedades
(Em milhares de hectares por célula de 50 km x 50 km)

7A – FC sem cotas (FCnoCRA) 7B – FC sem anistia (FCnoSFA)



Elaboração dos autores.

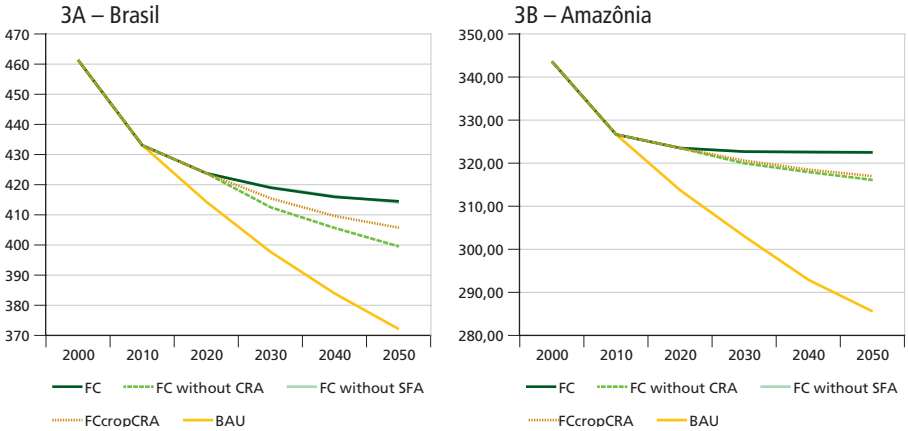
Ao permitir a compensação de áreas desmatadas ilegalmente com os excedentes de vegetação nativa, as cotas ambientais também reduzem a regeneração florestal em terras ilegalmente desmatadas. Sem as cotas (FCnoCRA), a área total de floresta regenerada aumenta em 25 Mha em 2050 em relação aos valores do cenário FC (figura 7A). O efeito das cotas é especialmente maior no Cerrado e na Mata Atlântica. Com a ausência de cotas no Cerrado, 13 Mha adicionais de florestas precisam ser restauradas até 2050. Na Amazônia, a regeneração florestal é de 9 Mha adicionais sem as cotas. O cenário em que apenas os agricultores compram cotas (FCcropCRA) leva a um resultado intermediário, uma vez que apenas os pecuaristas deverão reflorestar seus *deficit* de reserva legal. O cenário FCcropCRA

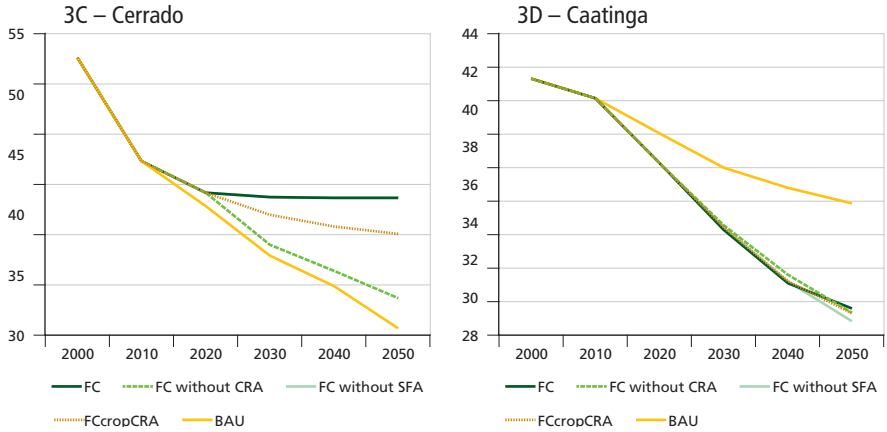
projeta para 2050 uma regeneração florestal de 14 Mha a mais que a projetada pelo cenário FC, mas 11 Mha a menos que o cenário FCnoCRA.

4.3 Conservação de florestas maduras

Embora as cotas reduzam o potencial de regeneração florestal no Brasil, contribuem para preservar a floresta madura. A retirada das cotas ambientais do cenário FC leva a um desmatamento de 19 Mha de florestas maduras em 2050. Quando as cotas são usadas apenas pelos agricultores (FCcropCRA), a perda de florestas maduras cai para 9 Mha em 2050 (gráfico 3). Na Amazônia, uma redução de 3 Mha de florestas maduras acontece em 2030 e de 6 Mha em 2050 para o cenário sem as cotas em relação ao cenário FC. No Cerrado, as cotas desempenham um papel importante na proteção de florestas maduras; sem as cotas, essas florestas se reduziriam 9 Mha em 2050 em relação ao FC. Se apenas os agricultores comprarem cotas, a redução de florestas maduras no Cerrado fica limitada a 4 Mha em 2050, em relação aos valores do FC. Esses resultados podem ser explicados pelo crescimento projetado da demanda para os produtos de uso da terra; havendo possibilidade CRA, parte dessa demanda continuaria a ser atendida por áreas compensadas via CRA. Caso esse mecanismo não possa ser empregado, a produção deixará de existir nessas áreas a serem reflorestadas, potencialmente migrando para outras regiões, nas quais ainda há possiblidade de supressão legal de florestas.

GRÁFICO 3
Projeções de florestas maduras, para diferentes cenários
(Em Mha)





Elaboração dos autores.

Na Mata Atlântica, a anistia de pequenas propriedades é mais importante do que as cotas para a preservação das florestas maduras, porque a maioria das propriedades é pequena e o estoque de excedentes florestais é baixo. Dado que as cotas têm um grande impacto no Cerrado, o mercado de cotas afetará mais este bioma. Na Amazônia, o que realmente importa é o cumprimento da lei por meio da proibição do desmatamento ilegal; a diferença entre os cenários FC e BAU é de mais de 30 Mha, enquanto tanto o FCnoCRA quanto o FCnoSFA reduzem a área total de floresta em apenas 5 Mha. O cumprimento do Código Florestal é, dessa forma, crucial para a preservação da floresta amazônica.

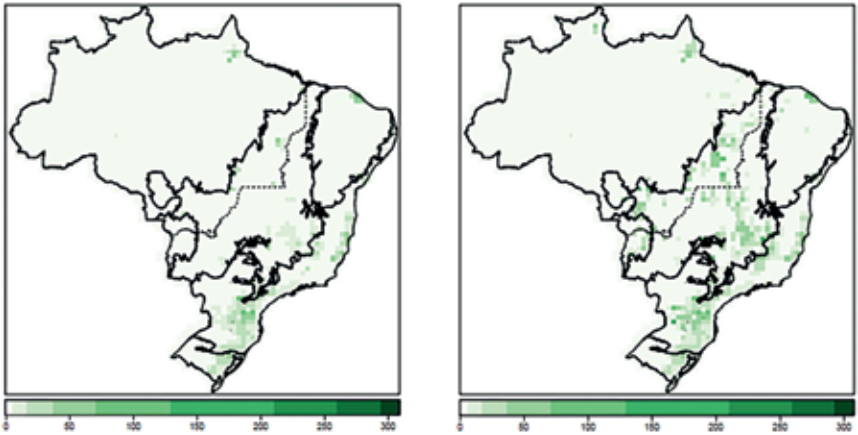
4.4 Florestas plantadas

O modelo projeta um crescimento significativo da área de florestas plantadas com um aumento de 110% em 2050 em comparação com a área em 2010. As florestas plantadas aumentarão de 7,65 Mha em 2010 para 12 Mha em 2030, e para 16 Mha em 2050, de acordo com o cenário FC (figura 8). Não há diferenças significativas nas áreas de florestas plantadas projetadas por todos os cenários, o que sugere que as leis ambientas não se limitam à expansão das florestas plantadas no Brasil. Essa expansão é mais forte no estado de Minas Gerais, na porção do Mato Grosso que pertence ao bioma do Cerrado, e na região do Matopiba[22] (figura 8B).

22. A região do Matopiba inclui os estados do Maranhão, do Tocantins, do Piauí e da Bahia.

FIGURA 8
Distribuição espacial das florestas plantadas, projetadas pelo cenário FC (2000 e 2030)
(Em milhares de hectares por célula de 50 km x 50 km)

8A – 2000 8B – 2030



Elaboração dos autores.

4.5 Produção agrícola

Em todos os cenários, a área agrícola aumentará nas próximas décadas (figura 9). De 56 Mha em 2010, a produção agrícola aumentará continuamente para 92 Mha em 2030 e alcançará 114 Mha em 2050, um crescimento de 190%.[23] A diferença da área agrícola no Brasil entre os cenários FC e BAU é de 10 Mha em 2050, uma perda de 9%. Estes resultados mostram que o Código Florestal não se limita à expansão das lavouras no Brasil.

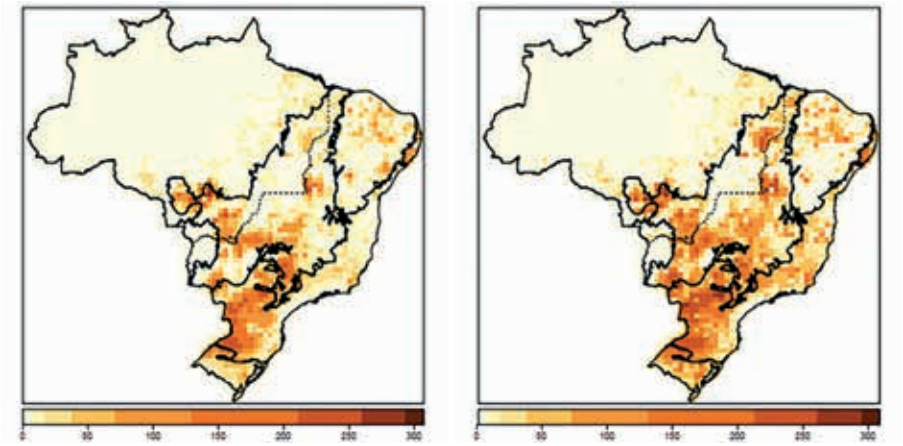
Dos 58 Mha de novas áreas agrícolas no Brasil criadas entre 2010 e 2050, 52% (30 Mha) estão no Cerrado, e 30% (18 Mha) na Mata Atlântica. A maior parte da expansão no Cerrado ocorre fora da região da Amazônia Legal, onde os requerimentos de reserva legal do Código Florestal são menores, especialmente no estado de Minas Gerais e na região do Matopiba.

A expansão agrícola ocorre principalmente pelo aumento do cultivo de cana-de-açúcar, soja e milho, de acordo com todos os cenários. A demanda de bioetanol impulsiona o aumento da produção de cana-de-açúcar. Como essa demanda é mantida constante entre 2030 e 2050, é esperado que o crescimento da área dessa cultura aumente de forma bem mais lenta após 2030. A produção de soja aumenta de 71,8 milhões de toneladas (Mt) em 2010 para 123,8 Mt em 2030, e 152,2 Mt em 2050 com a implementação dos principais dispositivos do Código Florestal (cenário FC).

23. Essas estimativas não contabilizam os valores projetados para a Caatinga devido ao alto grau de incerteza na produtividade deste bioma.

FIGURA 9
Distribuição espacial da área agrícola projetada para o cenário FC (2010 e 2030)
(Em milhares de hectares por célula de 50 km x 50 km)

9A – 2010 9B – 2030



Elaboração dos autores.

A expansão de soja é justificada pelas exportações que representam entre 69% e 74% da produção total em todo o período de simulação. Enquanto as exportações de soja para a União Europeia estabilizam após 2010, as exportações para a China continuariam crescendo até 2040. Em 2050, 69% das exportações brasileiras de soja vão para a China. A exportação para o Oriente Médio e o norte da África também aumentam alcançando 15% do total de exportações em 2050, uma participação equivalente à do mercado europeu. O uso doméstico de soja para a alimentação animal se intensifica de 13 Mt em 2010 para 34 Mt em 2050. O uso doméstico da alimentação animal se mantém como o principal mercado da produção de milho para todo o período de simulação. A demanda local da alimentação animal aumenta 65% entre 2010 e 2030, e 61% entre 2030 e 2050.

A implementação do Código Florestal (FC) comparada ao cenário BAU reduz a área agrícola no Brasil, e a maior parte desta redução ocorre na Amazônia. No entanto, como as áreas agrícolas na Amazônia não são as maiores responsáveis pela produção agrícola do país, o impacto geral dessa redução é pequeno. Apenas 5 Mha (8%) da expansão agrícola ocorre no bioma da Amazônia devido ao cumprimento do requerimento de reserva legal.

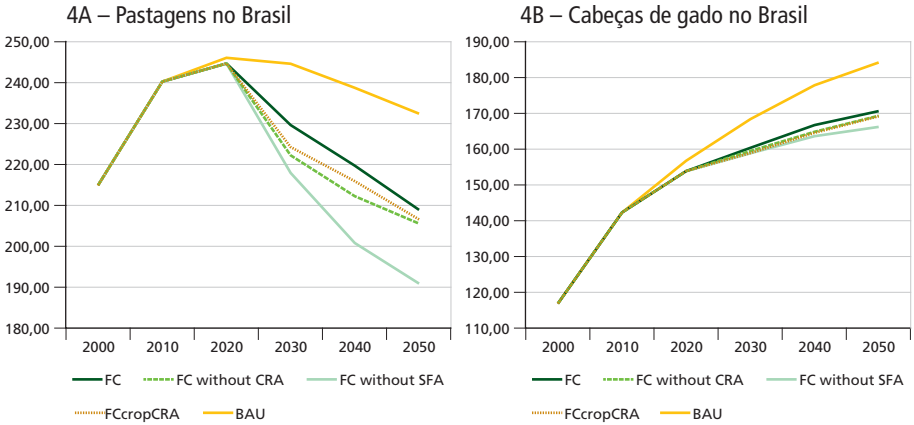
A produção de milho quase não é afetada por qualquer um dos cenários do Código Florestal, com uma variação menor que 1%. A área de soja é reduzida em 6% e a de cana-de-açúcar em 10% em 2050, de acordo com o cenário FC em relação ao BAU. O cenário sem cotas ambientais tem um impacto pequeno nas áreas agrícolas,

mas a ausência das anistias de pequenas propriedades reduz ainda mais a área de cana-de-açúcar em 10%, e a área de soja em 12%, comparadas ao cenário BAU.

4.6 Pasto e gado

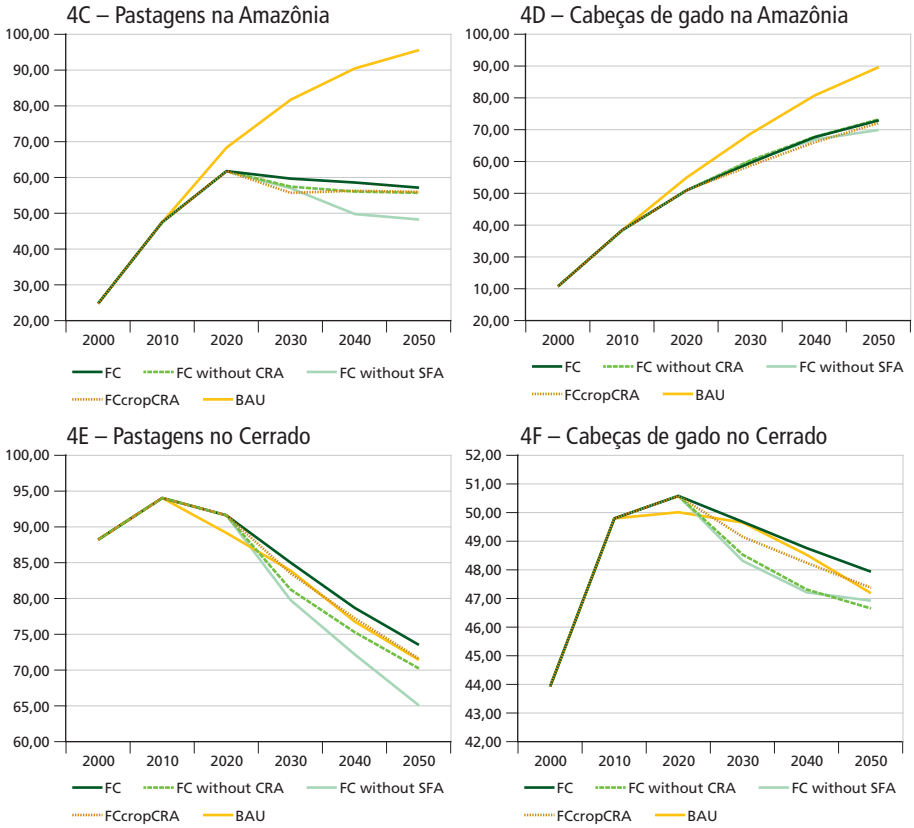
O Código Florestal reduz a área total de pastagens em 15 Mha em 2030, e em 22 Mha em 2050 em relação ao cenário BAU, o que equivale a uma redução de 10% (gráfico 4A). As pastagens aumentam de 215 Mha em 2000 para 244 Mha em 2020, e então elas diminuem para 208 Mha no cenário FC. O Código Florestal acelera e acentua o decrescimento da área de pasto, que só se inicia em 2040 para o cenário BAU. No entanto, o impacto do Código Florestal no número de cabeças de gado é limitado a uma redução de 8%. O número total de bovinos projetado para o Brasil é de 160 MTLU[24] em 2030 e de 170 MTLU em 2050 (gráfico 4 e figura 10). A capacidade de lotação média no Brasil aumenta de 0,59 TLU/ha em 2010 para 0,82 TLU/ha em 2050 (um ganho de 50%). Este resultado é consistente com os dados atuais do Ministério da Agricultura, que apontam para um aumento na produtividade das pastagens e uma diminuição em sua área total.[25]

GRÁFICO 4
Evolução da área de pastagem (em Mha) e do número de cabeças de gado (em milhões de TLU)



24. Tropical Livestock Unit (TLU). MTLU = milhões de TLU.

25. Os resultados apresentados para a pecuária não levam em consideração o aumento do peso da carcaça dos bovinos, por exemplo, ao longo do período de projeções do GLOBIOM. Isto pode estar incorrendo em uma subestimação da produtividade em termos de quilos de carne/hectare, incorrendo também em uma superestimação das áreas de pasto ao longo das próximas décadas. Este fato está sendo estudado pela equipe de implementação do modelo e será incorporado nas próximas versões.

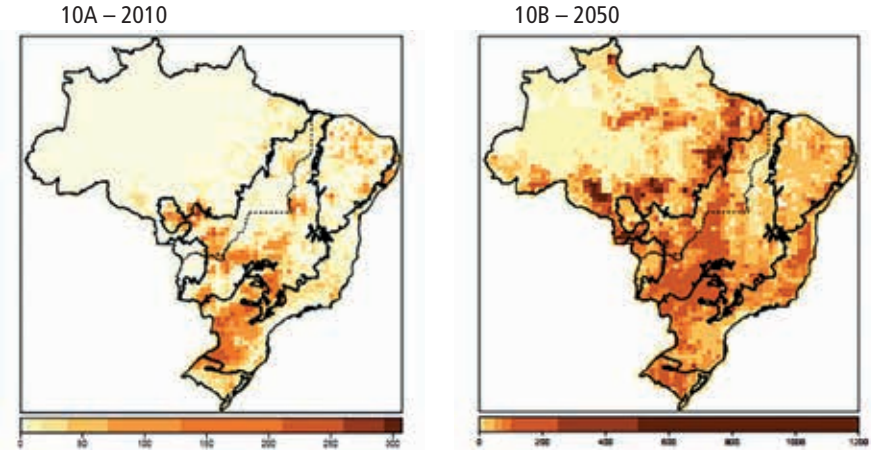


Elaboração dos autores.

FIGURA 10

Distribuição espacial das cabeças de gado de acordo com o cenário FC (2010 e 2050)

(Em milhares de TLU por célula de 50 km x 50 km)



Elaboração dos autores.

A produção total de carne dobra entre 2010 e 2050 no Brasil. A carne bovina aumenta de 10 milhões de toneladas (Mt) em 2010 para 20 Mt em 2050, a carne de porco aumenta de 3,8 Mt para 10,7 Mt e a carne de aves aumenta de 9 Mt para 15 Mt com o Código Florestal implementado. As exportações de carne bovina aumentam, especialmente depois de 2030, quando uma grande parte começa a ser exportada para a África. A implementação do Código Florestal não implica uma redução significativa da produção de carne, porque a escassez de terra fornece incentivos para que os pecuaristas adotem sistemas mais produtivos.

A intensificação do pasto e o aumento na produção de carnes ocorrem no GLOBIOM-Brasil como consequência do aumento do uso de sistemas de manejo intensivos. Essas mudanças levam a uma alta produção de pastagens por hectare (Cohn, Mosnier e Havlík, 2014), e a um alto uso de grãos na alimentação dos animais, que podem crescer mais e em menos tempo utilizando-se a mesma área (Havlik, Valin e Herrero, 2014). Além disso, várias pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) no cruzamento de braquiária contribuíram para a melhoria das pastagens, influenciando diretamente no peso do animal confinado no pasto.[26]

A Amazônia é o bioma onde o crescimento do rebanho bovino é maior; as cabeças de gado crescem de 38 MTLU em 2010 para 60 MTLU em 2030, e para 73 MTLU em 2050 (taxas de crescimento de 55% e 90%). Em 2050, 42% do rebanho bovino brasileiro estará na Amazônia. Apesar desse crescimento no número de cabeças de gado, o aumento de produtividade aponta para uma estabilização da área de pastagem na Amazônia em torno de 56 Mha para a maioria dos cenários. Dado que a expansão de pastagens está diretamente relacionada ao desmatamento na Amazônia, assegurar o cumprimento das leis ambientais é fundamental para que o surgimento de novos cortes de floresta não aconteça (Arima *et al.*, 2014). Pesquisas de campo recentes no Pará mostram que os acordos nos contratos de registro de propriedade e na cadeia de fornecimento de carne promovem mudanças positivas nos frigoríficos e no comportamento dos pecuaristas (Gibbs *et al.*, 2015). O cumprimento do Código Florestal é crucial para promover ganhos na produtividade do gado na Amazônia e, assim, evitar o desmatamento decorrente da expansão de pastagens sobre a floresta.

Os criadores de gado no Cerrado reduzem mais as suas pastagens do que os pecuaristas na Amazônia, até mesmo para o cenário BAU. A criação de gado no Cerrado permanece estável em 47 MTLU entre 2010 e 2050, mas a área de pastagens diminui em 20%, de 92 Mha em 2030 para 73 Mha em 2050, de acordo

26. Conforme comentando anteriormente, esse aumento do peso da carcaça ao longo dos próximos anos não está sendo explicitamente modelado no GLOBIOM. Por outro lado, os ganhos totais de produtividade podem estar implicitamente capturando esse ganho de peso dos animais no pasto, através das curvas de crescimento dos animais. Esses itens estão sendo estudados pela equipe do GLOBIOM para as próximas versões do modelo.

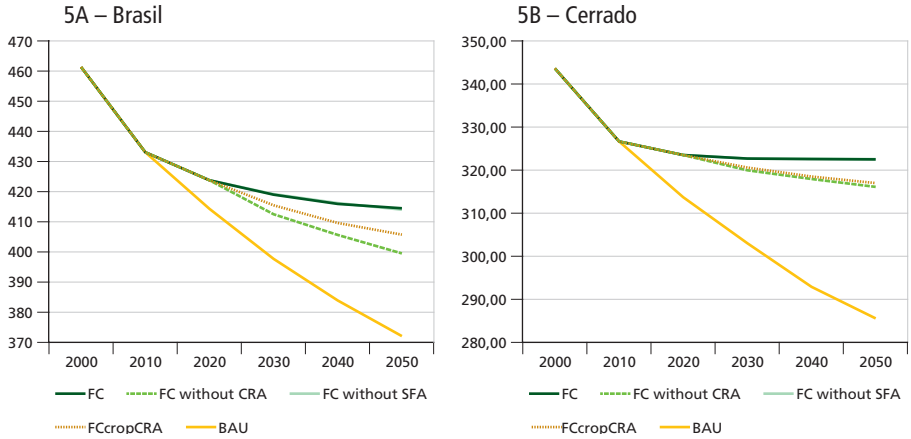
com os resultados do cenário FC. Sem a anistia de pequenas propriedades, as pastagens caem para 65 Mha. Essa diminuição na área de pastagens observada no Cerrado acontece porque existe uma grande demanda para a expansão de áreas agrícolas nesse bioma.

As tendências no bioma da Mata Atlântica são similares às do Cerrado. Na Mata Atlântica, a expansão agrícola ocasiona uma queda tanto na área de pastagens quando no número de cabeças de gado, independentemente do cenário. As áreas agrícolas crescem de 24 Mha em 2010 para 37 Mha em 2030 e 42 Mha em 2050, enquanto as pastagens decrescem de 55 Mha em 2010 para 43 Mha em 2030 e 36 Mha em 2050 (cenário FC). O rebanho bovino cai de 36 MTLU para 33 MTLU em 2030.

4.7 Outras vegetações não florestais e não produtivas

A maior mudança da cobertura da terra em todos os cenários do GLOBIOM-Brasil é a diminuição das áreas de vegetação não florestal e não produtiva. No GLOBIOM, essa classe é chamada de "terra natural" e inclui todas as classes de vegetação natural que são classificados pelo International Geosphere–Biosphere Programme (IGBP) como vegetação arbustiva aberta, vegetação arbustiva fechada e savanas não florestadas.[27] Incluem-se todas as áreas que o IBGE classifica como *vegetação secundária* e *áreas antrópicas*, ou seja, que já tenham sido usadas por agricultores e pecuaristas. No Brasil, as "terras naturais" contabilizam 102 Mha no ano 2000, com 36 Mha na Amazônia, 43 Mha no Cerrado, 6 Mha na Caatinga, e 14 Mha na Mata Atlântica. A maior parte das áreas classificadas como outras vegetações não florestais e não produtivas está em biomas para os quais o Código Florestal determina uma proteção de apenas 20% da vegetação nativa.

GRÁFICO 5
Evolução das áreas de outras vegetações não florestais e não produtivas
(Em Mha)



Elaboração dos autores.

27. Em inglês, *open shrublands, closed shrublands e non-forested savannas*.

Nos cenários do GLOBIOM-Brasil, grande parte da expansão agrícola ocorre sobre as áreas de outras vegetações não florestais e não produtivas (gráfico 5). Para o cenário FC, essa classe se reduz de 82 Mha no ano 2000 para 56 Mha em 2050, uma perda de 32%. Dos 53 Mha de áreas de outras vegetações não florestais e não produtivas existentes em 2050, 29 Mha estão dentro de áreas protegidas (54%). A perda desse tipo de vegetação é particularmente grande no Cerrado; a diferença dessa classe em 2050 entre os cenários FC e BAU é de 13 Mha.

Quanto mais severas forem as restrições sobre as necessidades de regeneração florestal (FCnoCRA ou FCnoSFA), maiores serão os cortes de outras vegetações naturais não florestais, e o cenário com as maiores reduções desse tipo de vegetação é o cenário do Código Florestal sem a anistia de pequenas propriedades (FCnoSFA). Como a área de vegetação não florestal utilizada para a expansão agropecuária será pequena a partir de 2050, será necessária uma maior intensificação das pastagens e da agricultura após 2050.

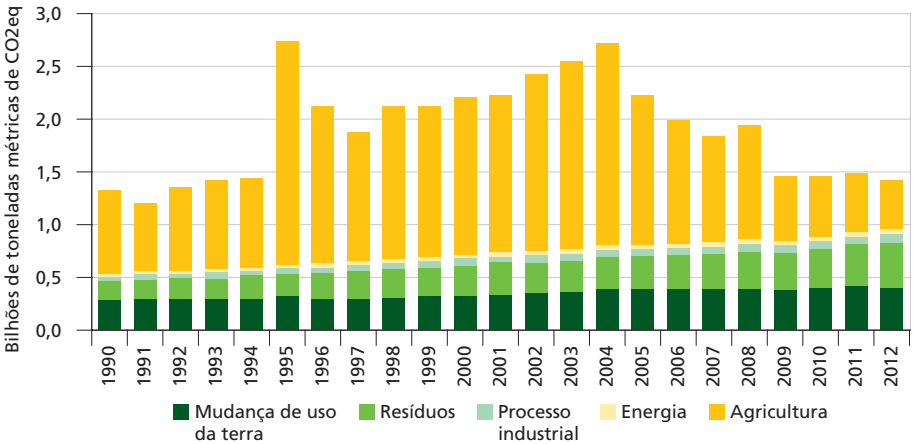
5 EMISSÕES DO SETOR LULUCF: 2020-2050

5.1 Emissões de gases de efeito estufa no Brasil: 1990-2012

Para se ter uma ideia melhor das projeções de emissões de gases de efeito estufa do setor de mudanças do uso da terra e florestas no Brasil, é importante considerar como o perfil de emissões brasileiras tem evoluído nos últimos anos. Em 2005, as emissões no país eram de 2,43 GtCO2e.[28] Dois terços desse valor (65%) são provenientes das mudanças do uso da terra, especialmente do desmatamento na Amazônia. De acordo com estimativas recentes, as emissões de GEEs no Brasil caíram para 1,58 GtCO2e em 2011, uma queda de 35% devida à redução do desmatamento (Boucher *et al.*, 2014). Emissões por desmatamento caíram de 1,57 GtCO2e em 2005 para apenas 0,57 GtCO2e em 2011. As emissões do setor energético e da agropecuária aumentaram. Emissões relacionadas ao setor de energia cresceram de 0,33 GtCO2e para 0,44 GtCO2e (um aumento de 25%). E as emissões relacionadas à agropecuária aumentaram de 0,42 GtCO2e para 0,44 GtCO2e (um aumento de 4%), como mostra o gráfico 6.

28. Neste capítulo, a menos que especificado, as emissões de GEEs são expressas em termos de potencial de aquecimento global (*global warming potential* – GWP), uma das duas opções recomendadas pelo IPCC para a elaboração de relatórios de emissões.

GRÁFICO 6
Emissões brasileiras de GEEs por setor econômico (1990-2012)
(Em bilhões de toneladas métricas de CO2eq)



Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)-Observatório do Clima. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>.
Elaboração dos autores.

5.2 Emissões de GEEs do setor de mudanças do uso da terra e florestas

As estimativas de emissões dos gases de efeito estufa do setor de mudanças do uso da terra e florestas (*Land Use Change and Forestry*, LUCF) utilizam o conteúdo de carbono das diferentes classes de cobertura da terra no estado de equilíbrio.[29] O quadro 1, a seguir, resume as emissões relacionadas às transições de LUCF modeladas pelo GLOBIOM-Brasil. O desmatamento e as outras mudanças do uso da terra produzem emissões positivas. O florestamento de florestas plantadas e o reflorestamento por regeneração florestal causam emissões negativas através da remoção de CO2 da atmosfera.

As estimativas de emissões deste estudo utilizam quatro mapas distintos de biomassa para o Brasil como forma de minimizar as incertezas inerentes aos dados de biomassa. Por definição, o GLOBIOM utiliza os estoques de carbono da biomassa viva da vegetação (acima e abaixo do solo) definido em Kindermann *et al.* (2008) para florestas, e o definido em Havlik, Schneider e Schmid (2011) para as florestas de rotação curta (ou florestas plantadas). Para pastagens e outras vegetações não florestais, o modelo utiliza o mapa de biomassa definido em Ruesch e Gibbs (2008). O mapa padrão do GLOBIOM para a biomassa da cobertura florestal foi ajustado para corresponder aos dados da FAO (2010). Foram incluídos dois mapas pan-tro-

29. Os coeficientes de CO2 para as emissões e remoções são determinados pela diferença dos conteúdos de carbono entre a classe de cobertura da terra inicial e a nova classe.

picais de biomassa de vegetação lenhosa viva (acima e abaixo): Baccini *et al.* (2012) e Saatchi *et al.* (2011). Os mapas de Baccini e Saatchi utilizam dados do *Geoscience Laser Altimeter System* (Glas) para as estimativas sistemáticas da altura e da estrutura da copa das árvores.[30] Os autores utilizam diferentes fontes de dados terrestres para a calibração e diferentes métodos de estimativa, o que resulta em diferenças significativas no conteúdo de carbono na Amazônia central.

QUADRO 1
Conversões de mudanças do uso da terra e emissões associadas modeladas no GLOBIOM-Brasil

Emissões		Conversões de uso da terra	
Emissões	Ação	De	Para
Positivas	Desmatamento	Floresta madura	Área agrícola
		Floresta madura	Pastagem
	Outras mudanças do uso da terra	Pastagem	Área agrícola
		Vegetação não florestal	Área agrícola
		Vegetação não florestal	Pastagem
Negativa	Florestamento	Área agrícola	Floresta plantada
		Pastagem	Floresta plantada
		Vegetação não florestal	Floresta plantada
	Reflorestamento	Área agrícola	Regeneração florestal
		Pastagem	Regeneração florestal
		Vegetação não florestal	Regeneração florestal

Elaboração dos autores.

Quando a vegetação natural é convertida para algum uso agropecuário (áreas agrícolas ou pastagens) ou para o florestamento de florestas de rotação curta, considerou-se que todo o estoque de carbono da biomassa acima e abaixo é liberado na atmosfera. A serapilheira, a madeira morta e o carbono orgânico no solo não são contabilizados no GLOBIOM-Brasil. Esta é a metodologia adotada pelo Brasil para elaborar o seu nível de referência florestal submetido à UNFCCC. Uma abordagem mais sofisticada é usada em Aguiar *et al.* (2012), e será utilizada em trabalhos futuros.

O modelo contabiliza a absorção de carbono por meio de regeneração de florestas e outras vegetações não florestais. O período de regeneração em áreas desmatadas varia de vinte a 75 anos, dependendo do bioma. Na Amazônia e na Mata Atlântica, a regeneração de florestas primárias leva 75 anos. No Cerrado, na Caatinga e no Pantanal, a floresta leva vinte anos para recuperar sua biomassa original. Como o Pampa tem uma vegetação composta por gramíneas (pastagens), a regeneração da vegetação natural leva apenas três anos. Esses períodos de regeneração

30. O *Geoscience Laser Altimeter System* (Glas) é o instrumento do satélite *Ice, Cloud, and land Elevation* (ICESat).

por tipo de vegetação foram estimados a partir do incremento médio anual (IMA) obtido do modelo G4M,[31] combinado com as estimativas de conteúdo de carbono do trabalho de Liu *et al.* (2015) para savanas arbustivas e pastagens. Para as florestas tropicais da Amazônia e da Mata Atlântica, a curva de crescimento de vegetação assume que essas florestas recuperam 70% das suas biomassas originais em 25 anos (Houghton *et al.*, 2000; Ramankutty *et al.*, 2007). No GLOBIOM-Brasil, toda a regeneração florestal é mantida em uma nova classe de uso da terra, separada das outras classes de floresta, durante todo o período de simulação, com o objetivo de avaliar os diferentes impactos sobre a biodiversidade.

Dadas as incertezas associadas aos mapas de biomassa, as emissões líquidas de CO2 do setor LUCF no período 2010-2050 são obtidas a partir de um conjunto de estimativas. Adotaram-se quatro mapas de biomassa para calcular as remoções de CO2 em decorrência do florestamento e do reflorestamento, e três mapas de biomassa para as emissões de CO2, devido ao desmatamento e outras mudanças do uso da terra. Esse conjunto de estimativas possui, portanto, doze casos e está resumido no quadro 2.

QUADRO 2
Conjunto de mapas de biomassa utilizados em dois cenários do GLOBIOM-Brasil

Cenário	Ação	Mapa de biomassa
FC	Desmatamento (três casos)	Saatchi *et al*. (2011)
		Baccini *et al*. (2012)
		Kindermann *et al*. (2008); FAO (2010)
	Reflorestamento (quatro casos)	Saatchi *et al*. (2011)
		Baccini *et al*. (2012)
		Kindermann *et al*. (2008); FAO (2010)
		G4M Increment ; Liu *et al*. (2015)
BAU	Desmatamento	Saatchi *et al*. (2011)
		Baccini *et al*. (2012)
		Kindermann *et al*. (2008); FAO (2010)

Elaboração dos autores.

As estimativas de emissões de CO2 do setor LUCF para o período 2001-2010 calculadas pelo modelo GLOBIOM-Brasil estão apresentadas no quadro 3. As emissões provenientes do desmatamento na Amazônia obtidas pelo modelo podem ser comparadas com as emissões apresentadas no Frel e em Aguiar *et al.* (2012). As emissões de CO2 para o setor LUCF calculadas pelo modelo para todos

31. O G4M é um modelo de manejo de florestas desenvolvido pelo IIASA e faz parte do *cluster* de modelagem de REDD junto ao EPIC e ao GLOBIOM.

os biomas podem ser comparadas com as estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. As estimativas do GLOBIOM-Brasil para as emissões por desmatamento na Amazônia diferem em apenas 3% das emissões apresentadas no Frel e obtidas em Aguiar *et al*. (2012). E as emissões do setor LUCF em todo o país diferem em apenas 2% das estimativas dadas pelo SEEG.[32]

Calcularam-se as emissões líquidas de CO2 do setor LUCF para todo o Brasil, incluindo o bioma da Amazônia, entre 2000 e 2050. As emissões estão separadas por tipo de emissão (desmatamento, reflorestamento, florestamento e outras mudanças do uso da terra). A liberação de carbono da biosfera terrestre para a atmosfera na forma de CO2 por meio desmatamento e outras mudanças do uso da terra ocorre em apenas um período de simulação (dez anos). Em contrapartida, a remoção de CO2 da atmosfera pela regeneração florestal ocorre ao longo de várias décadas. Entre 2010 e 2050, as emissões por desmatamento são maiores do que as remoções por regeneração florestal. De acordo com as projeções do modelo, as florestas plantadas ou de curta rotação removem pequenas quantidades de CO2 se comparadas com as remoções provenientes da regeneração florestal.

QUADRO 3
Comparação das estimativas de emissões de GEEs provenientes das mudanças de uso da terra[1]

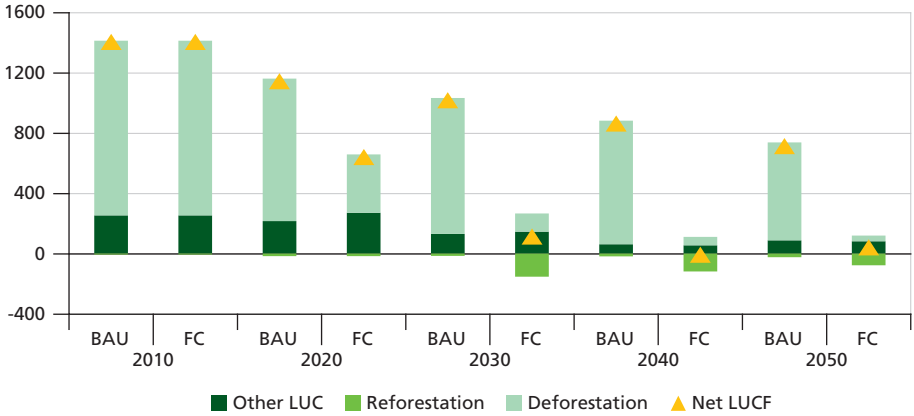
Estudo	Período	Cobertura	Tipo	Emissões (MtCO2e)
Frel (Brazil, 2014)	2001-2010	Amazônia	Desmatamento	872
Aguiar *et al*. (2012)	2000-2009	Amazônia	Desmatamento	831
GLOBIOM-Brasil	2001-2010	Amazônia	Desmatamento	862
SEEG (2014)[2]	2001-2010	Brasil	LUCF	1.326
GLOBIOM-Brasil	2001-2010	Brasil	LUCF	1.404

Elaboração dos autores.
Notas: [1] Os valores obtidos pelas projeções do GLOBIOM-Brasil mostram estimativas medianas para a Amazônia e o Brasil.
[2] ODisponível em: <http://goo.gl/2sRhTh>

O cenário do Código Florestal projeta emissões baixas para o Brasil na década 2020-2030 (gráfico 8A), e as emissões líquidas provenientes das mudanças do uso da terra e florestas irão alcançar uma situação de emissões zero entre 2030 e 2040. De acordo com as projeções do modelo, a Amazônia será um sumidouro líquido depois de 2040 (gráfico 8B). As emissões evitadas entre 2010 e 2050 para o cenário FC em comparação com o BAU são de 24,6 GtCO2e. Essa é uma contribuição significativa para a mitigação dos gases de efeito estufa.

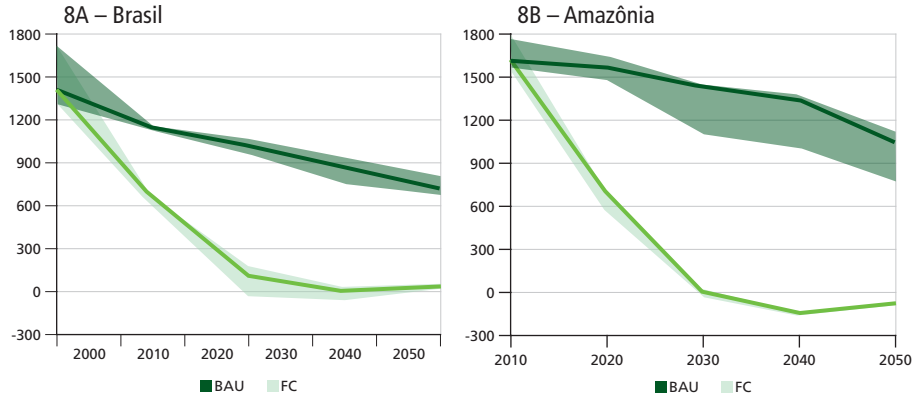
32. As emissões apresentadas pelo Frel, por Aguiar *et al*. (2012) e pelo SEEG são médias no período 2001-2010. As emissões do GLOBIOM-Brasil são valores medianos para o mesmo período obtidos do conjunto de estimativas para diferentes mapas de biomassa.

GRÁFICO 7
Emissões de CO2 do setor LUCF no Brasil para os cenários BAU e FC
(Em MtCO2e/ano)



Elaboração dos autores.

GRÁFICO 8
Emissões líquidas de CO2 provenientes das mudanças do uso da terra e florestas no Brasil e na Amazônia para os cenários BAU e FC
(Em MtCO2e/ano)



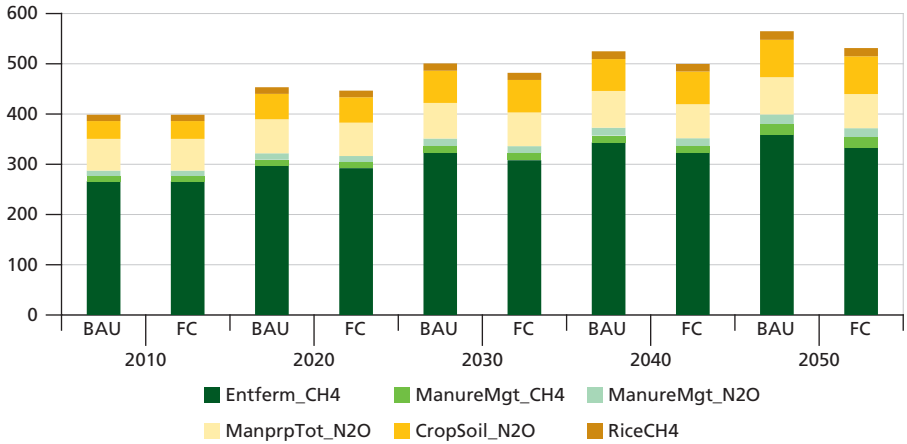
Elaboração dos autores.
Obs.: As linhas sólidas representam os valores medianos e a sombra representa a faixa de valores entre o mínimo e o máximo.

5.3 Emissões de GEEs do setor agropecuário

Seguindo as metodologias propostas pelo IPCC, as estimativas do setor agropecuário incluem as emissões por fermentação entérica do rebanho de ruminantes – predominantemente do rebanho bovino –, por manejo de dejetos animais, pelo cultivo de arroz irrigado, pela queima de resíduos agrícolas, e por atividades em solos agrícolas, que incluem o uso de fertilizantes sintéticos e orgânicos (Cerri *et al.*, 2009).

No GLOBIOM, as emissões da pecuária são: CH4 da fermentação entérica, CH4 do manejo de dejetos animais, e N2O dos excrementos no pasto – N2O da adubação dos solos agrícolas por manejo de dejetos animais é contabilizado junto com a produção agrícola.

GRÁFICO 9
Emissões de GEEs do setor agropecuário no Brasil para os cenários BAU e FC



Elaboração dos autores.

As estimativas dessas emissões utilizam a metodologia Tier 2 do IPCC para cada espécie, sistema de manejo e região, e são calculadas pelo modelo Ruminant[33] (Thornton, 2010; Herrero, Havlík e Valin, 2013). Em resumo, o metano da fermentação entérica é calculado simultaneamente pelo *feed-yield* do modelo Ruminant, pelo teor de nitrogênio dos excrementos e da quantidade de sólidos voláteis. Os coeficientes de emissões do modelo levam em conta diferentes sistemas de manejo e usos de dejetos animais. As emissões da agricultura são derivadas do uso de fertilizantes nitrogenados (sintéticos e compostos orgânicos), e emissões de metano pelo cultivo de arroz irrigado. As estimativas utilizadas pelo GLOBIOM são obtidas do modelo EPIC no que tange ao uso de fertilizantes por tipo de sistema de manejo, e pelos fatores de emissões das diretrizes do IPCC.

Estimativas do uso de fertilizantes sintéticos utilizam uma abordagem de baixo para cima (*bottom-up*). O modelo EPIC fornece as estimativas da quantidade de fósforo e nitrogênio necessária para cada cultura e sistema de manejo por hectare de cada célula de simulação. Dessa forma, o uso total de fertilizantes é ajustado para os valores nacionais com base nas estatísticas do International Fertiliser Association. Para o cultivo de arroz, aplicou-se a metodologia Tier 1, em que as emissões

33. O Ruminant é um modelo dinâmico para a previsão do consumo animal, o consumo de nutrientes, e as emissões associadas ao rebanho de ruminantes.

são proporcionais à área cultivada, dados os fatores de emissões da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, sigla em inglês). Para quantificar as emissões provenientes dos fertilizantes orgânicos, o modelo Ruminant utiliza uma metodologia similar.

Para validar as projeções de emissões do setor agropecuário, inicialmente comparou-se a base de referência para o ano 2000 com os valores obtidos por Cerri *et al*. (2009), e depois com as projeções para 2010 e as estimativas do SEEG. Para o ano 2000, as estimativas do GLOBIOM e as calculadas por Cerri *et al*. (2009) diferem em 21%. Os resultados possuem uma tendência de superestimar as emissões por fermentação entérica e subestimar as emissões do uso de fertilizantes (solos agrícolas). O GLOBIOM não contabiliza emissões por queima. Para 2010, as emissões do setor agropecuário em todo o Brasil diferem em apenas 2% entre as estimativas do GLOBIOM e do SEEG.

TABELA 2
Comparação das estimativas de emissões de GEEs do setor agropecuário (2000 e 2010)
(Em MtCO2e)

Emissões de GEEs	2000		2010	
	GLOBIOM	Cerri	GLOBIOM	SEEG
Fermentação entérica	213,05	204,80	266,22	234,32
Manejo de dejetos animais	14,89	13,20	20,99	17,36
Cultivo de arroz irrigado	11,68	5,00	12,89	9,75
Atividades em solos agrícolas	75,35	155,4	98,71	139,64
Queima de resíduos agrícolas	-	4,00	-	5,38
Total	**314,97**	**382,40**	**398,81**	**406,45**

Elaboração dos autores.

As emissões do setor agropecuário projetadas no Brasil aumentam para o período 2020-2050. As emissões do cenário FC aumentam de 400 MtCO2e em 2010 para 480 MtCO2e em 2030, e para 531 MtCO2e em 2050. A maior parte das emissões desse setor no Brasil (70%) é proveniente da fermentação entérica do rebanho bovino. Para medir os efeitos das emissões da agropecuária nas mudanças climáticas globais, procura-se seguir as diretrizes do IPCC, convertendo as estimativas para *Global Temperature Potential* (GTP). Em termos de GTP, as emissões brasileiras provenientes do setor agropecuário são muito menores, variando entre 128 MtCO2e em 2010 e 154 MtCO2e em 2030, e 170 MtCO2e em 2050.

De acordo com as estimativas do governo brasileiro, as emissões dos setores de mudanças do uso da terra e do setor agropecuário (*Land Use, Land Use Change and Forestry* – LULUCF) correspondem a 80% do total nacional em 2005, medidos em termos de GTP equivalentes. Considerando a meta geral de emissões estabelecidas pela INDC do Brasil, que é de 1,07 MtCO2e em GTP para 2030 – sem o

corte raso de florestas maduras –, os resultados mostram que as emissões do setor LULUCF representam 28% das emissões totais de GEEs do país. Dessa forma, as emissões do setor energético, industrial e de resíduos representam mais de 70% do total brasileiro. Esta é uma grande mudança em relação às décadas de 1980, 1990 e 2000, quando o setor LULUCF era o maior responsável pelas emissões brasileiras.

6 CONCLUSÕES

O estudo indica trajetórias possíveis das mudanças do uso da terra no Brasil entre 2020 e 2050, projetadas pelo por meio do modelo GLOBIOM-Brasil. O modelo considera políticas ambientais, produção agropecuária e comércio exterior. Nos cenários analisados, a cobertura florestal se estabiliza, enquanto as produções da agricultura e da pecuária continuam crescendo. Os resultados indicam que os dispositivos do Código Florestal permitem obter um compromisso entre proteção ambiental e produção agrícola. Com isso, os compromissos de reduções nas emissões provenientes das mudanças do uso da terra assumidos na INDC brasileira são possíveis de serem cumpridos.

Aplicando-se o Código Florestal, é possível ter desmatamento líquido zero na Amazônia, onde a produção agropecuária será dominada pela criação de gado. As maiores expansões das áreas agrícolas ocorrem no Cerrado e na Mata Atlântica, por meio do uso de terras não produtivas e de vegetação não florestal, e também pelo uso de terras poupadas (*spare land*) da intensificação das pastagens. Tais pressões sobre a vegetação natural sugerem que, para evitar perdas significativas de biodiversidade na Caatinga e no Cerrado, o Brasil precisa de outras medidas de preservação para esses biomas.

O Brasil pode se tornar um sumidouro de emissões nas próximas décadas. A regeneração de florestas como consequência da implementação das regras do Código Florestal compensa as emissões provenientes do desmatamento legal na década 2020-3030, reduzindo as emissões líquidas em 90% comparadas às emissões de 2005. Na década 2030-2040, o Brasil atinge emissões zero provenientes do setor de mudanças do uso da terra para os cenários do Código Florestal.

A principal mensagem aqui extraída é a da necessidade de *enforcement* do Código Florestal pelo governo brasileiro. Para tanto, o país enfrentará grandes desafios. Construir um cadastro ambiental rural de boa qualidade é essencial para monitorar a regeneração florestal. O Brasil precisa estabelecer um sistema de monitoramento para todo o país tão poderoso quanto o já existente na Amazônia. A anistia de reserva legal deve ser limitada apenas às pequenas propriedades, evitando o desmembramento irregular de grandes fazendas. Os incentivos certos para uma produção eficiente devem estar em prática, incluindo o Programa Agricultura de Baixo Carbono. Se o Brasil vencer esses desafios, teremos múltiplos benefícios, incluindo a proteção da biodiversidade, a mitigação das emissões e uma produção agrícola sustentável.

Nos próximos anos, pretende-se melhorar o modelo, com dados detalhados do cadastro ambiental rural, com mapas de propriedades para a estimativa de *deficit* e excedentes de reserva legal. Também será importante caracterizar melhor o comportamento dos agentes econômicos, incluindo decisões sobre adoção de safra e safrinha e a caracterização do mercado de cotas de reserva ambiental. Os resultados obtidos e potenciais do GLOBIOM-Brasil mostram que modelos econométricos espaciais, se bem calibrados com dados de entrada de qualidade, geram informações importantes e permitem que políticas públicas de uso da terra sejam definidas a partir de evidências sólidas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. *et al*. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation -driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 18 n. 11, p. 3346-3366, 2012.

ARIMA, E. Y. *et al*. Public policies can reduce tropical deforestation: lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, n. 41, p. 465-473, 2014.

BACCINI, A. *et al*. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 182-185, 2012.

BOUCHER, D. *et al*. Deforestation success stories: tropical nations where forest protection and reforestation policies have worked. **Union of Concerned Scientists**, 2014. (Technical Report).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Comissão Nacional de Biodiversidade. **Resolução Conabio nº 6, de 3 de setembro de 2013**. Dispõe sobre as metas de biodiversidade para 2020. Brasília: MMA, 2013. Disponível em: <http://goo.gl/fZUpce>.

_____. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima**. [s.d.]. Disponível em: <http://goo.gl/Ha7AiO>.

BRAZIL. **Brazil's submission of a Forest Reference Emission Level (Frel) for reducing emissions from deforestation in the Amazonia biome for REDD+ results-based payments under the UNFCCC**. Brasília, Sept. 2014. Disponível em: <http://goo.gl/sQzIQz>.

_____. **Intended Nationally Determined Contribution**: towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Federal Government of Brazil, 2015. (Technical Report).

CERRI, C. *et al*. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

COHN, A.; MOSNIER, A.; HAVLÍK, P.; Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. **PNAS**, v. 111, n. 20, p. 7236-7241, 2014.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global forest resources assessment 2010**. United National Food and Agriculture Organization, 2010. (Technical Report). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>. Acesso em: fev. 2016.

GIBBS, H. *et al*. Did ranchers and slaughterhouses respond to zero deforestation agreements in the Brazilian Amazon? **Conservation Letters**, 2015.

HAVLIK, P.; SCHNEIDER, U. A.; SCHMID, E. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. **Energy Policy,** v. 39, n. 10, p. 5690-5702, 2011.

HAVLÍK, P.; VALIN, H.; HERRERO, M. Climate change mitigation through livestock system transitions. **PNAS**, v. 111, n. 10, p. 3709-3714, 2014.

HERRERO, M.; HAVLÍK, P.; VALIN, H. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. **PNAS**, v. 110, n. 52, p. 20888-20893, 2013.

HOUGHTON, R. *et al*. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, n. 6767, p. 301-304, 2000.

KINDERMANN, G. *et al*. A global forest growing stock, biomass and carbon map based on FAO statistics. **Silva Fennica**, v. 42, n. 3, p. 387-396, 2008.

LIU, Y. *et al*. Recent reversal in loss of global terrestrial biomass. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 470-474, 2015.

MCCARL, B.; SPREEN, T. H. **Applied mathematical programming using algebraic systems**. Texas: A&M University, 2007.

MOSNIER, A.; HAVLÍK, P.; OBERSTEINER, M. Modeling impact of development trajectories and a global agreement on reducing emissions from deforestation on Congo Basin forests by 2030. **Environmental and Resource Economics**, v. 57, n. 4, p. 505-525, 2014.

NOTENBAERT, A. *et al*. Classifying livestock production systems for targeting agricultural research and development in a rapidly changing world. **International Livestock Research Institute**, 2009. (Technical Report). Disponível em: <https://goo.gl/sPrkg5>.

RAMANKUTTY, N. *et al*. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biology,** n. 13, p. 51-66, 2007.

RUESCH, A.; GIBBS, H. **New IPCC tier-1 global biomass carbon map for the year 2000**. 2008. Disponível em: <http://goo.gl/ZEQpoC>.

SAATCHI, S. *et al*. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **PNAS**, v. 108, n. 24, p. 9899-9904, 2011.

SAMUELSON, P. Spatial price equilibrium and linear programming. **The American Economic Review**, p.283-303, 1952.

SCHNEIDER, U.; MCCARL, B.; SCHMID, E. Agricultural sector analysis on greenhouse gas mitigation in US agriculture and forestry. **Agricultural Systems**, v. 94, n. 2, p. 128-40, 2007.

SERÉ, C.; STEINFELD, H.; GROENEWOLD, J. **World livestock production systems:** current status, issues and trends. *In***:** CONSULTATION ON GLOBAL AGENDA FOR LIVESTOCK RESEARCH, Nairobi, Kenya. 18-20 Jan 1995, 1995.

SKALSKY, R.; TARASOVICOVA, Z. ; BALKOVIC, J. **Geo-Bene global database for bio-physical modeling**. Geobene project, 2008. (Technical Report).

SOARES-FILHO, B. *et al*. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

TAKAYAMA, T.; JUDGE, G. **Spatial and temporal price and allocation models**. North-Holland Amsterdam: Publishing Company, 1971.

THORNTON, P. Livestock production: recent trends, future prospects. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**: Biological Sciences, v. 365, n. 1554, p. 2853-2867, 2010.

UN – UNITED NATIONS. **Forest reference emission levels**. [s.d.]. Disponível em: <http://goo.gl/erSNOh>.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Decisions adopted by the Conference of the Parties**. 15 March 2012. Disponível em: <http://goo.gl/FH8dTn>.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Heterogeneidad estructural de la agricultura familiar en el Brasil. **Revista Cepal**, n. 111, p. 103-121, 2013.

WILLIAMS, J. The Epic model. *In*: SINGH, V. P. (Ed.). **Computer models of watershed hydrology**. Water Resources Publications, 1995. (Technical Report).