

Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação - MCTI
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Coordenação de Pós-graduação - COPG
Programa de Pós-graduação em Biologia (Ecologia)

**SIMULAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL DO DESMATAMENTO NA
ÁREA DOS MUNICÍPIOS SOB INFLUÊNCIA DIRETA DA PONTE DO
RIO NEGRO, AMAZONAS**

CAMILA JULIA PACHECO RAMOS

Manaus, Amazonas

Agosto, 2015

CAMILA JULIA PACHECO RAMOS

**SIMULAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL DO DESMATAMENTO NA
ÁREA DOS MUNICÍPIOS SOB INFLUÊNCIA DIRETA DA PONTE DO
RIO NEGRO, AMAZONAS**

ORIENTADOR: Dr. PHILIP MARTIN FEARNSIDE

Co-orientador: Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça

Dissertação apresentada ao
Instituto Nacional de Pesquisas da
Amazônia como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Biologia
(Ecologia).

Manaus, Amazonas

Agosto, 2015

RELAÇÃO DA BANCA JULGADORA

Dr. Francis Wagner Silva Correia
(Universidade do Estado do Amazonas)

Dr. Neliton Marques da Silva
(Universidade Federal do Amazonas)

Dr. Sérgio Henrique Borges
(Fundação Vitória Amazônica)

R175 Ramos, Camila Julia Pacheco

Simulação da dinâmica espacial do desmatamento na área dos municípios sob influência direta da Ponte do Rio Negro, Amazonas / Camila Julia Pacheco Ramos. --- Manaus: [s.n.], 2015.

37 f. : il.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2015.

Orientador : Philip Martin Fearnside.

Coorientador : Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça.

Área de concentração : Ecologia.

1. Periurbanização. 2. Desmatamento. 3. Modelagem. I. Título.

CDD 363.7

Sinopse:

Estudou-se a influência da construção da Ponte do Rio Negro, entre Manaus-Iranduba, sobre a mudança de cobertura da terra da região da margem direita do rio Negro, nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão. Foi feita a simulação espacial dessa mudança para avaliar efeitos da pressão da metrópole Manaus sobre o desmatamento nessa região da floresta amazônica, até o ano de 2025.

Palavras-chave: Mudança de cobertura terra, modelagem, urbanização, Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação da Ecologia pela oportunidade de continuar minha formação acadêmica.

Ao Prof. Dr. Philip Fearnside, sou imensamente grata pela orientação e oportunidade de trabalhar em seu laboratório de pesquisa. Para mim foi, e ainda é, um grande desafio, mas também era um desejo antigo poder trabalhar nessa área de pesquisa. Obrigada também por todas as contribuições, paciência e disposição nesse período.

Ao Dr. Paulo Graça, muito obrigada pela coorientação, apoio, e, principalmente, por toda a calma transmitida durante esse processo. Obrigada por todo o suporte e contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida, e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais (INCT-SERVAMB) pela contribuição financeira na fase de campo.

Agradeço aos colegas de laboratório por toda ajuda nesse período. À Livia Granadeiro pela prestatividade, e ao Raimundo pelo ajuda em campo. Agradeço, principalmente, a Aurora Yanai, que foi fundamental na realização desse trabalho. Obrigada por dividir comigo seu conhecimento e experiência do “mundo da modelagem espacial” e do “mundo do geoprocessamento”.

À minha mãe e meu pai, Elizabete e Ivan, que sempre foram os maiores apoiadores desde o início. Todo amor, confiança, dedicação e conselhos são essenciais para minha formação. Agradeço aos meus irmãos pelo carinho, e, principalmente ao João, pela preocupação e companheirismo. Agradeço a todos da minha família, pela união e torcida.

Ao Marco Antônio, pela tranquilidade, cumplicidade e carinho, e por estar sempre presente, de alguma forma.

Às amigas “antigas” de São Paulo, e especialmente às de São Carlos, que, mesmo com a distância, contribuíram para minha formação. E agradeço às “novas” amigas, que ajudaram a tornar esses anos amazônicos inesquecíveis.

RESUMO

A região do “Arco do Desmatamento” tem sua configuração associada à facilidade de acesso via terrestre dos grandes mercados consumidores do Sudeste e do Sul do Brasil. Na ausência deste acesso, a Amazônia Ocidental, e mais especificamente o Estado do Amazonas, ainda apresenta grandes áreas de floresta amazônica. Todavia, a construção da Ponte do Rio Negro, entre Manaus e Iranduba, pode abrir novas fronteiras para o desmatamento. Essa é uma obra que interliga Manaus, maior centro econômico da Amazônia brasileira, a uma região com grandes áreas de floresta. Esse trabalho buscou avaliar a influência direta da Ponte do Rio Negro de infraestrutura em relação à evolução da dinâmica espacial de desmatamento na área da margem direita do rio Negro, nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão. Através da simulação do cenário Sem Ponte (SP) e do cenário Ponte do Rio Negro (PRN), com o modelo AGROECO, simulou-se a mudança de cobertura da terra do período de 2014 a 2025. As taxas históricas de desmatamento foram consideradas como premissa para cada cenário. Para o cenário PRN considerou-se o histórico de desmatamento do período de início da construção da ponte (2008) até 2012, e para o cenário SP o período de 2003 até 2007. O resultado obtido quanto à quantidade de desmatamento entre 2013 e 2025 para o total da área de estudo foi 19.650 ha no cenário PRN e 15.393 ha no cenário SP, ou seja, 27,7% mais desmatamento poderá ocorrer nesse período no cenário com a ponte. Considerando somente os municípios de Iranduba e Manacapuru, que apresentaram aumento do desmatamento no cenário Ponte do Rio Negro, o acréscimo foi de 33,4% nesse cenário. A distribuição espacial em ambos cenários foi muito similar, entretanto uma diferença foi encontrada ao redor da rodovia AM-352, que recorta a região Oeste do município de Iranduba. Os cenários simulados demonstraram o potencial de mudança da distribuição do desmatamento na margem direita do rio Negro como efeito da ponte. A metrópole Manaus encontra-se em fase de expansão horizontal de sua mancha urbana, aumentando em muito o interesse nas terras do lado direito do rio Negro. Áreas antes de difícil acesso agora podem sofrer mais pressão e serem mais desmatadas.

ABSTRACT

Simulation of the spatial dynamics of the deforestation at the municipalities areas under direct influence of municipalities of the Rio Negro Bridge, Amazonas

Brazil's "Arc of Deforestation" has its configuration tied to ease of access to large consumer markets in the Southeast and South regions of the country. In the absence of such access, Western Amazonia, and more specifically Amazonas State, still retains large areas of Amazon forest. However, the construction of the Negro River Bridge, between Manaus and Iranduba, could open new frontiers for deforestation. This bridge connects Manaus (the largest economic center in the Brazilian Amazon) to a region with large areas of standing forest. The present study sought to assess the direct influence of this infrastructure on changes in the spatial dynamics of deforestation on the right bank of the Negro River in the municipalities of Iranduba, Manacapuru and Novo Airão. Using the AGROECO model, land-cover change was simulated from 2014 to 2025 in a No Bridge Scenario (NB) and a Negro River Bridge Scenario (NRB). Historical deforestation rates were used as the premise for each scenario. For the PRN scenario, the historical rates referred to the period from the beginning of bridge construction (2008) until 2012, and for the SP scenario the 2003 to 2007 period was used. The result obtained for the amount of deforestation between 2013 and 2025 in the total three-municipality study area was 19,650 ha in the NRB scenario and 15.393ha in the NB scenario, that is, 27.7% more deforestation occurred over this period in the scenario with the bridge. Considering only the municipalities of Iranduba and Manacapuru, where deforestation increased in the Negro River Bridge scenario, the increase was 33.4% in this scenario. The spatial distribution in both scenarios was very similar, but a difference was found along the AM-352 Highway that, cuts through the western side of the municipality of Iranduba. The simulated scenarios demonstrated the potential for changes in the distribution of deforestation on the right bank of the Negro River as a result of the bridge. The metropolis of Manaus is in a phase of rapid horizontal expansion, thus greatly increasing interest in the land on the other side of the Negro River. Areas that were previously difficult to access may now be exposed to more pressure and deforestation.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
Apresentação	1
Objetivos	4
Objetivo geral	4
Objetivos específicos	4
Capítulo 1	5
RESUMO	7
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	10
Área de estudo	10
Cenários simulados	12
Modelo AGROECO	12
Dados espaciais de entrada do modelo	13
Calibração	14
Funções de alocação de transição	17
Validação	17
Município controle	18
RESULTADOS	19
Quantificação do desmatamento simulado	19
Espacialização do desmatamento	20
DISCUSSÃO	22
Quantidade de área desmatada nos cenários simulados	22
Outras influências sobre o desmatamento futuro	24
Alteração da paisagem	25
Periurbanização	28
CONCLUSÃO	30
Conclusão	38
Referências bibliográficas	38
Anexos	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da Região Metropolitana de Manaus (RMM), criada em 2007, que abrange a capital Manaus e mais sete municípios do Estado do Amazonas.....	09
Figura 2. Mapa de localização da área de estudo. A área de desmatamento é derivada da base de dados do INPE (2013).....	11
Figura 3. Histórico da área desmatada por município, segundo dados obtidos do INPE (2013).....	12
Figura 4 Comparação da taxa de desmatamento do município de Iranduba com o de Careiro da Várzea, município controle, entre os anos antes e depois (2008) do início da construção da Ponte do Rio Negro (INPE, 2013).....	19
Figura 5. Área (ha) do desmatamento acumulado simulado para cada cenário até o ano de 2025 para toda área de estudo (A) e para cada área dos municípios da margem direita do rio Negro (B, C, D), sob influência direta da Ponte do Rio Negro (PRN).....	20
Figura 6. Mapa simulado da dinâmica de desmatamento para o cenário Sem Ponte (A) e para o cenário PRN (B) até o ano de 2025 para a área de estudo composta pelos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão.....	22
Figura 7. Unidades de conservação da área de estudo, dados obtidos MMA (2015).....	27

Apresentação

O Brasil possui a maior área da floresta amazônica, cerca de 60%, o que corresponde a quase 40% de floresta tropical remanescente da Terra (Kirby *et al.*, 2005). Recentemente houve uma diminuição da taxa anual de desmatamento de 27.772 km², do ano de 2004, para 4.848 km² em 2014 (INPE, 2015). Entretanto, importantes serviços ambientais fornecidos pela floresta como abrigo de diversas espécies, manutenção do ciclo hidrológico e de estoque de carbono, podem ser impactados por novas fronteiras de desmatamento (Fearnside, 2003; Nepstad, 2011). Exemplo disso é a periurbanização que vem ocorrendo no centro da Amazônia Ocidental, no entorno da metrópole Manaus.

O desmatamento da Amazônia brasileira concentra-se no Sul do Pará, Norte do Mato Grosso, Leste do Maranhão, Noroeste de Tocantins, Rondônia, Sul do Amazonas e Sudeste do Acre, região conhecida como o “Arco do Desmatamento”. Essa configuração é resultado, principalmente, do fácil acesso a essa parte da floresta na Amazônia. As obras de infraestrutura, como estradas, aliadas aos fatores macroeconômicos, são umas das principais causas que incitam o desmatamento (Escada e Alves, 2001; Laurance *et al.*, 2002; Souza Jr. *et al.*, 2005; Kirby *et al.*, 2005). Aproximadamente 95% do desmatamento têm ocorrido dentro de 5,5 km de distância de estradas na Amazônia (Barber *et al.*, 2014). A extensão da infraestrutura de transporte dentro de fronteiras tropicais, especialmente estradas, incentiva a imigração, aumenta a exploração agrícola e atividades econômicas que destroem a floresta (Moreira *et al.*, 2009; Fearnside, 2012).

Distante da realidade do Arco do Desmatamento, a Amazônia Ocidental permanece com a maior parte da sua cobertura florestal. Na região central da Amazônia Central foi criada a Região Metropolitana de Manaus – RMM, em 2007, pela Lei Complementar nº 52/2007, e modificada em 2008 pela Lei Complementar nº 59, que engloba Manaus (capital do Estado Amazonas) e mais sete municípios (Careiro da Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Manacapuru, Novo Airão, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva), e possui uma área de 101.475 km² (Seplan, 2014). A RMM não é resultado, como as demais regiões metropolitanas do Brasil, de uma circunstância histórica da conurbação, união de áreas urbanas de diferentes cidades, que levou o poder público a instituir uma nova entidade administrativa a fim de melhor gerir o território (Lima, 2010; Sousa, 2013). A criação da RMM é uma iniciativa para alavancar a integração do poder público, estadual e municipal, com a sociedade civil para promoção do desenvolvimento econômico da região. Ainda, o que se pode observar é que ocorre uma articulação entre os municípios de Manaus, Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, muito disso

devido à construção da Ponte do Rio Negro, que liga Manaus a Iranduba. Essa ponte diminui a distância espaço-temporal entre Manaus e os municípios da margem direita do rio Negro. A Ponte do Rio Negro, como um incremento de melhoria da malha viária da região, poderá atrair uma série de intervenções no Sul da RMM (Portal do Governo do Amazonas, 2009; Sá *et al.*, 2010). Muitas obras estão sendo implementadas nessa região da margem direita do rio Negro, como o gasoduto Coari-Manaus, a Cidade Universitária da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) em Iranduba, bem como o planejamento de outras, como a revitalização do porto da cidade de Manacapuru, a extensão da Zona Franca de Manaus para Iranduba e diversos empreendimentos imobiliários.

Com a Ponte do Rio Negro, outra atividade que poderá ser deslocada e intensificada de Manaus para Iranduba, é o setor industrial de olarias. Isso devido à existência de extensos depósitos de matéria-prima argilosa nessa região, de incentivos fiscais para as vendas destinadas à Zona Franca de Manaus, da elevada oferta de mão-de-obra barata, da instalação de empresas no interior e da proximidade com o centro consumidor de Manaus (NEAPL, 2009). O polo cerâmico Iranduba-Manacapuru é o mais importante do Amazonas na produção de tijolos e telhas, representando 92% da produção cerâmica estadual e movimentando cerca de 80% da construção civil em todo Estado (Riker, 2010).

Há uma recente urbanização da floresta amazônica em termos de ocupação dos centros urbanos pela maior parte da população. Em 1996 a Amazônia passou a abrigar 61% da população em áreas urbanas, e não somente nas capitais estaduais, como também nos municípios com menos de 100.000 habitantes. Essa rápida urbanização se tornou um dos maiores problemas ambientais da Amazônia, em decorrência da rápida migração e falta de infraestrutura (Becker, 2001). Contudo, essa expansão de uma rede urbana de um município sobre outro município, como um fenômeno de periurbanização, ou seja, o avanço de uma área urbana sobre uma área rural (Allen, 2003), é um processo novo na Amazônia Ocidental. Essa nova área, peri-urbana, passa apresentar atividades mais relacionadas com a residência e serviço, e também comércio e algumas indústrias. As atividades rurais podem permanecer, porém voltadas para atender a metrópole do entorno.

No Brasil a periurbanização surge como consequência de fenômenos sociais e do desenvolvimento tecnológico (Silva, 2011). Nos dias atuais, com o desenvolvimento das redes de telecomunicações e da aquisição do carro próprio pela classe média, há um aumento do interesse do homem urbano por migrar e ocupar a zona rural a fim de buscar as amenidades e confortos que os grandes centros urbanos, já saturados, não oferecem mais (Silva, 2011). Frequentes congestionamentos, elevado preço dos terrenos e aumento da poluição são

constantes no caos urbano, assim a possibilidade de deslocamento para áreas periféricas torna-se cada vez mais atraente. Conforme Araújo (2014), mesmo que a paisagem dessas áreas periurbanas ainda remeta ao ambiente rural, estão sob a interferência da metrópole.

A especulação imobiliária, o aumento dos setores de comércio e de indústria e o aumento fluxo demográfico estão pautados na melhoria dessa malha viária que cresce e se consolida com esse projeto, não ficando restrita à construção da ponte. Daí a importância de se entender como se encontram os municípios que serão afetados e avaliar o que poderá ocorrer nos próximos anos em decorrência desses impactos.

Modelos de dinâmica da paisagem são aplicados para buscar quantificar e detectar espacialmente as transições de uso e cobertura da terra em um determinado período de tempo, e também poder compreender a influência de determinadas variáveis no desmatamento tropical (Geist e Lambin, 2002). O modelo aqui empregado baseia-se em autômatos celulares. Modelos de autômatos celulares consistem em uma forma de representar a dinâmica de um sistema em grade. Assim, cada célula de um sistema n -dimensional de células sofrerá uma atualização de seu estado, conforme um conjunto de regras de transição, e de acordo com uma determinada vizinhança, a passos discretos de tempo (Soares-Filho *et al.*, 2002; Soares-Filho *et al.*, 2007). Modelos de autômatos celulares são ferramentas com grande potencial para o entendimento de dinâmicas urbanas, principalmente por integrarem dimensões espaciais e temporais dessas dinâmicas (Santé *et al.*, 2010). O objetivo desse trabalho foi compreender a dinâmica de desmatamento na região da margem direita do rio Negro sob efeito da influência da Ponte do Rio Negro, através de modelos de simulação espacialmente explícitos.

Objetivos

Objetivo geral

Analisar o efeito da construção Ponte do Rio Negro (interligando Manaus-Iranduba) sobre o desmatamento nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, a partir da modelagem de cenários futuros do ano 2014 a 2025.

Objetivos específicos

- a) Quantificar a área desmatada e analisar a evolução temporal do desmatamento para os municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão desde 2003 a 2007, período sem a Ponte do Rio Negro, e também para o ano de início da construção da ponte (2008) até 2012.
- b) Elaborar e analisar cenários de simulação sem o efeito da construção da Ponte do Rio Negro (cenário Sem Ponte), e com efeito da construção da ponte (cenário Ponte do Rio Negro) sobre a dinâmica do desmatamento para o período de 2014 a 2025.

Capítulo 1

Ramos, C. J. P.; Graça, P. M. L. A.; Fearnside, P. M. 2015. Simulação da dinâmica espacial do desmatamento na área dos municípios sob influência direta da Ponte do Rio Negro, Amazonas. Manuscrito formatado para a revista *Acta Amazonica*.

Simulação da dinâmica espacial do desmatamento na área dos municípios sob
influência direta da Ponte do Rio Negro, Amazonas

Camila Julia Pacheco RAMOS^{1*}; Paulo Maurício Lima de Alencastro GRAÇA²; Philip
Martin FEARNSIDE²

¹ Programa de Pós Graduação em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

² Coordenação de Dinâmica Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

* Autora correspondente

RESUMO

A Amazônia Ocidental está distante da fronteira de desmatamento, contudo esse quadro pode ser alterado. Para facilitar o acesso terrestre na região da Amazônia Ocidental, foi construída uma ponte sobre o rio Negro que interliga o município de Manaus, principal centro econômico da região Norte do Brasil, ao município de Iranduba. Com a ponte, diversas atividades como a construção de condomínios, de casas de veraneio, do aumento de área de cultivo e da instalação de indústrias, poderão ser facilitadas, promovendo a mudança de uso e cobertura da terra nas intermediações de Manaus. O objetivo desse trabalho foi fazer a simulação de dois cenários, um cenário Sem Ponte (SP) e outro cenário Ponte do Rio Negro (PRN), para avaliar a dinâmica espacial do desmatamento na área da margem direita, nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão. O resultado obtido quanto à quantidade de desmatamento entre 2013 e 2025 para o total da área de estudo desses três municípios foi 19.650 ha no cenário PRN e 15.393 ha no cenário SP, ou seja, 27.7% mais desmatamento poderá ocorrer nesse período no cenário com a ponte. Considerando somente os municípios de Iranduba e Manacapuru, que apresentaram aumento do desmatamento no cenário Ponte do Rio Negro, o acréscimo foi de 33,4% nesse cenário. Foi possível detectar uma mudança na espacialização da área desmatada, sendo que no cenário PRN há um avanço da fronteira de desmatamento, principalmente na região Oeste de Iranduba.

Palavras-chave: Mudança de cobertura terra, modelagem, urbanização, Amazônia.

Simulation of the spatial dynamics of the deforestation at the municipalities areas under direct influence of municipalities of the Rio Negro Bridge, Amazonas

ABSTRACT

The Western Amazon is far from the deforestation frontier, anyway this situation can be changed. To favour land access in the Western Amazon region, a bridge was built over the Negro River that connects the city of Manaus, main economic center of northern Brazil, to the city of Iranduba. With the bridge, various activities such as building condominiums, vacation homes, increasing of cultivated area and the installation of industries, may be facilitated, promoting the change of land use and land cover at the intermediation area of Manaus. The aim of this study was to simulate two scenarios, a scenario with No Bridge (NB) and another scenario with the Negro River Bridge (NRB) to evaluate the spatial dynamics of deforestation in the area of the right bank, at the cities of Iranduba, Manacapuru and Novo Airão. The result

obtained on the amount of deforestation between 2013 and 2025 for the total studied area of these three cities was 19,650 ha in NRB scenario and 15,393 ha in the NB scenario, *ie* 27.7% more deforestation occurred at that period studied on the scene with bridge . Considering only the municipalities of Iranduba and Manacapuru , where deforestation increased in the Negro River Bridge scenario, the increase was 33.4% in this scenario. It was possible to detect a change at the spatial distribution of the deforested area, and in the NRB scene for an advance of deforestation frontier, especially in the West Iranduba region.

Keywords: Land cover change, modeling, urbanization, Amazon

INTRODUÇÃO

Distante do “Arco do Desmatamento”, no centro da Amazônia Ocidental, foi criada a Região Metropolitana de Manaus (RMM). A RMM (Figura 1) é uma iniciativa do Estado a fim de criar bases para a instalação de infraestruturas de desenvolvimento econômico da região. O marco de interligação da RMM é a construção de uma ponte sobre o rio Negro, entre Manaus e Iranduba. Aliadas à macroeconomia, obras de infraestrutura, como estradas, são umas das principais causas que incitam o desmate (Laurance *et al.*, 2002; Kirby *et al.*, 2005; Souza Jr. *et al.*, 2005).

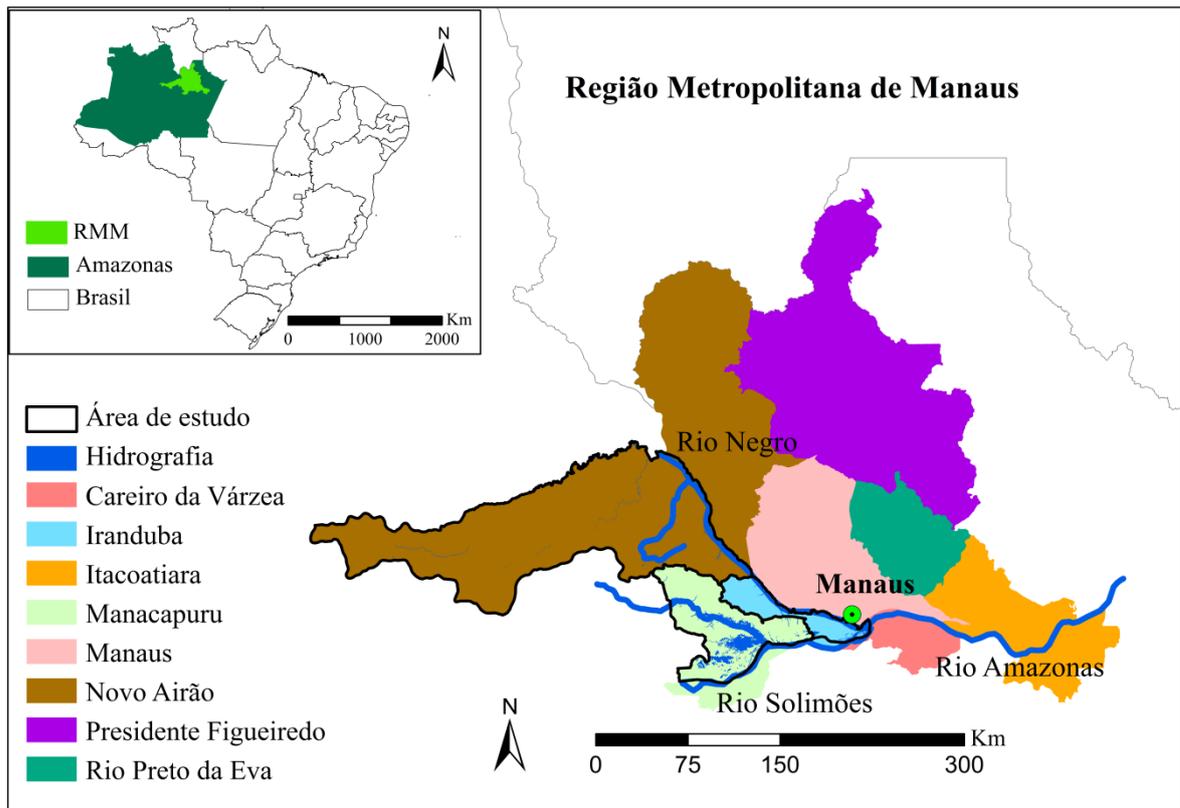


Figura 1. Mapa da Região Metropolitana de Manaus (RMM), criada em 2007, que abrange a capital Manaus e mais sete municípios do Estado do Amazonas.

Fatores como o aumento populacional de Manaus, a instalação de grandes obras como o gasoduto Coari-Manaus, a construção de um pólo universitário em Iranduba, a duplicação da rodovia AM-070, bem como o planejamento de outras obras, somados ao setor das olarias que produzem tijolos e telhas para a construção civil, podem aumentar o desmatamento na margem direita do rio Negro (Moreira *et al.*, 2009; Sousa, 2013; Rodrigues *et al.*, 2014; Amazonas, 2011). Há também o plano de asfaltar a rodovia BR-319, que poderá abrir uma fronteira de migrantes para a Amazônia Ocidental, e assim, aumentar o desmatamento ao redor dessa rodovia (Fearnside *et al.*, 2009; Soares-Filho *et al.*, 2006).

A zona urbana de Manaus está comprimida entre a Bacia do Tarumã-açu, a Reserva Florestal Adolpho Ducke e o rio Negro. A Ponte do Rio Negro fez surgir uma demanda por aquisição de imóveis na margem direita do rio Negro, o que aumentou a valorização da terra urbana e a especulação imobiliária (Ehnert, 2011; Sousa, 2013). Esse avanço de uma região urbana sobre uma região rural configura-se como periurbanização. Sobre os espaços periurbanos, deve ser destacada a perda de algumas características rurais da terra. Os interesses fogem da produção estritamente agrária, mas também faltam certos atributos urbanos, levando à baixa densidade populacional, falta de serviços e infraestrutura (Allen,

2003). As principais atividades buscam atender a demanda dos mercados da metrópole como, por exemplo, a produção de hortaliças (Araújo, 2014).

A Ponte do Rio Negro pode alterar a dinâmica populacional e da infraestrutura, e, assim, o uso e cobertura da terra ao Sul da RMM. O objetivo desse trabalho foi simular, através de um modelo de dinâmica da paisagem, o efeito da construção da Ponte do Rio Negro, que interliga Manaus-Iranduba, sobre a dinâmica do desmatamento na área da margem direita do rio Negro nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão até o ano de 2025. Espera-se uma influência direta da construção da ponte nesses municípios, aumentando o fluxo entre a população de Manaus e essa região. Modelos espaciais preditivos simulam alteração dos atributos do meio ambiente através do espaço, de modo a auxiliar o entendimento dos mecanismos causais e a dinâmica dos sistemas ambientais, e, assim, analisar como eles evoluem diante de um determinado contexto (Soares-Filho *et al.*, 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os municípios de Iranduba (área territorial de 2.214,251 km²), Manacapuru (7.330,075 km²) e Novo Airão (37.771,378 km²) localizam-se na Região Metropolitana de Manaus (Figura 1), região Central do Estado do Amazonas (Figura 2A). A população estimada de cada município compreende 45.250, 92.996 e 17.199 habitantes, respectivamente (IBGE, 2014a).

O município de Novo Airão é cortado pelo rio Negro, já Iranduba e Manacapuru localizam-se à margem direita desse rio. Manacapuru é banhado pelo rio Solimões. Para compor a área de estudo não foi usada a área total de cada município, e sim somente a área de influência direta da ponte, que corresponde às áreas entre a margem direita do rio Negro e a margem esquerda do rio Solimões (Figura 2B). A escolha destes municípios neste estudo foi feita por serem aqueles em que se espera que haja uma influência direta da construção da ponte, em decorrência do aumento do fluxo migratório da população entre Manaus e esses municípios adjacentes. É de interesse considerar somente as áreas que agora serão mais acessíveis em decorrência da construção dessa obra viária.

No ano de 2013, a área de estudo tinha uma superfície desmatada de 127.930,0 ha, sendo que o município de Iranduba apresentava área desmatada de 48.324,9 ha, Manacapuru de 70.535,5 ha e Novo Airão de 9.070,56 ha (o que corresponde a 27%, 18,4% e 0,5% da

cobertura florestal, dentro da área de estudo, respectivamente) (Figura 2C). O histórico dessas estimativas é oriundo da classificação de desmatamento do PRODES para Amazônia (Figura 3), derivados de imagens do satélite da classe Landsat TM (INPE, 2013), com resolução espacial de 30 metros.

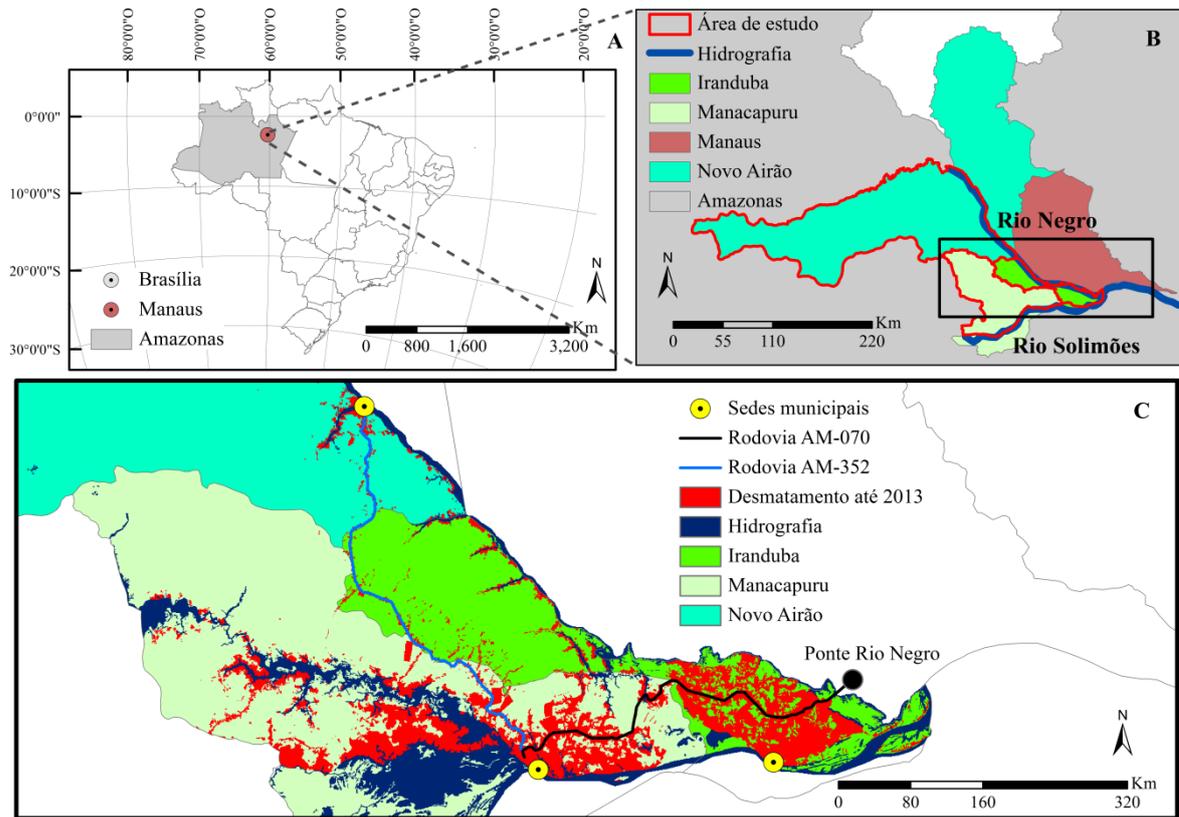


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo (A e B). A área de desmatamento é derivada da base de dados do INPE (2013) (C).

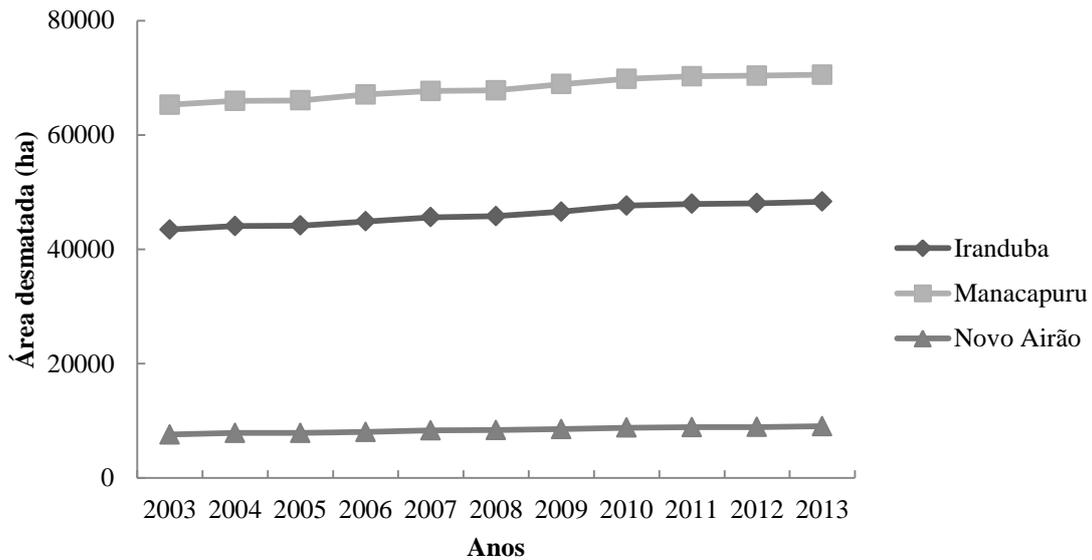


Figura 3. Histórico da área desmatada por município, segundo dados obtidos do INPE (2013).

Cenários simulados

Foi feita a simulação da projeção do desmatamento considerando dois cenários, o cenário Sem Ponte (SP) e o cenário Ponte do Rio Negro (PRN), de 2014 a 2025. No cenário SP foi considerada a tendência histórica das taxas de desmatamento entre os anos de 2003 a 2007, período em que não havia a ponte. Para o cenário PRN foi considerada a tendência histórica das taxas de desmatamento entre os anos de 2008 a 2012, uma vez que a ponte do Rio Negro começou a ser construída em dezembro de 2007. Assim, a simulação da dinâmica do desmatamento do cenário PRN foi comparada com a simulação do desmatamento do cenário Sem Ponte.

Modelo AGROECO

Para simular o efeito da Ponte do Rio Negro sobre a dinâmica de desmatamento para os municípios de Iraniduba, Manacapuru e Novo Airão foi utilizado o modelo espacial AGROECO, desenvolvido por Fearnside *et al.* (2009). A cada iteração esse modelo atualiza o mapa da “superfície de floresta fundiária” (SFF). Esse conceito denominado “superfície de floresta fundiária” representa a percepção da importância da presença de estradas para facilitar que pequenos proprietários apropriem-se de novas terras ao redor dessas estradas (Fearnside *et al.*, 2009). Esta superfície se expande na medida em que ocorre uma ampliação das estradas, que são construídas no módulo construtor de estradas. Esse módulo é uma rotina

interna automática de construção de estradas, baseado na probabilidade de destinos e superfície de custo. Esse módulo de construtor de mapas de estradas incorpora a cada iteração prováveis novas estradas. Esse modelo é executado no *software* Dinamica EGO (Rodrigues *et al.*, 2007; Soares-Filho *et al.*, 2002, 2009). As flutuações nas taxas de desmatamento nas simulações anuais se devem à estimulação de desmatamento por meio da extensão da rede de estradas, aumentando em pulsos a área disponível ao desmatamento.

Dados espaciais de entrada do modelo

Foram elaborados mapas de cobertura da terra de ano a ano do período de 2003 até 2012 para a área de estudo a partir dos dados de classificação de desmatamento do projeto PRODES (INPE, 2013). Esses dados são derivados de imagens de satélite da série Landsat TM, com 30 metros de resolução espacial, sendo mapeada pelo PRODES a área mínima de desmatamento, por corte raso, de 6,25 ha. Os mapas de cobertura da terra foram usados para se obter as taxas de desmatamento e na calibração do modelo para simulação do cenário Sem Ponte e do cenário com a Ponte do Rio Negro. A projeção cartográfica usada foi UTM [*Universal Transverse Mercator*] com Zona UTM 20 S e Datum WGS [*World Geodetic System*] 1984. No processo de calibração e simulação do modelo a resolução espacial adotada foi de 120 m.

As variáveis examinadas comportam um conjunto de fatores sociais e biofísicos que são espacialmente determinados. Foram utilizadas algumas variáveis que não mudam a cada iteração, as variáveis estáticas. Essas variáveis são mapa de solo do projeto Radam Brasil (IBGE, 2007), mapa de vegetação de Radam Brasil (SIPAM, 2007), mapa de altitude e mapa de declividade derivados do SRTM (EMBRAPA, 2005), mapa da hidrografia derivado do PRODES (INPE, 2013), mapas de unidades de conservação (MMA, 2015), mapa de distância a sedes municipais (derivado da UFSM, 2008) e mapa de estradas. É importante destacar que a distância a sedes municipais é um fator determinante de mudança de uso da terra, sendo essa distância um indicador de população e um *proxy* de mercados locais (Aguiar *et al.*, 2007). E também foram usadas variáveis que são atualizadas a cada iteração do modelo, as variáveis dinâmicas. As variáveis dinâmicas utilizadas, exibidas em forma de mapas, foram distância do desmatamento às estradas, e distância às áreas previamente desmatadas. Os dados espaciais da rede de estradas foram atualizados para área de estudo a partir dos dados fornecidos pelo

Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais para o ano de 2008.

Foram elaborados mapas de atratividade e fricção à construção de estradas dentro do Dinamica EGO. O mapa de atratividade foi elaborado por meio de análise multicritério atribuindo valores (pesos) às feições que tem predisposição para ampliação de estradas, como proximidade a estradas e a áreas previamente desmatadas. Do mesmo modo, a combinação de mapas de unidades de conservação e de declividade foi usada para a criação do mapa de fricção. Essas variáveis fornecem uma superfície de custo à abertura de novas estradas (Soares-Filho *et al.*, 2009)

Calibração

A fase de calibração é a etapa de ajuste dos parâmetros do modelo. Os coeficientes do método estatístico Pesos de Evidência e das taxas de desmatamento foram calibrados para se obter melhor adequação do modelo simulado, conforme os dados de desmatamento obtidos do PRODES. O modelo foi calibrado através do histórico da dinâmica de desmatamento da própria área de estudo. O modelo AGROECO foi regionalizado conforme os limites municipais devido a diferenças político-administrativas desses territórios. Dessa forma, os parâmetros de calibração para cada município foram individualizados. Para o cenário SP o período selecionado foi de 2003 a 2007, e para o cenário PRN foi de 2008 a 2012, posto que a construção da ponte iniciou-se em 2008.

O método estatístico Peso de Evidência usado no modelo produz mapas de probabilidades de transição de cobertura da terra, que representam as áreas mais favoráveis à alteração da paisagem (Soares-Filho *et al.*, 2007, 2009). Esse método bayesiano calcula a probabilidade *a posteriori* de se ocorrer um evento (o desmatamento, no caso) dada uma condição *a priori* favorável a determinado evento (Bonham-Carter *et al.*, 1989). O cálculo dos coeficientes dos pesos de evidência representa a influência de cada categoria (faixa de valores) de certa variável na mudança de cobertura da terra, no caso floresta para desmatamento. Primeiramente essa mudança de cobertura da terra foi mapeada. Para o cenário SP, o mapa de cobertura da terra de 2003 foi comparado com o mapa de 2007, e para o cenário PRN o mapa de 2008 foi comparado com o mapa de 2012. Depois foi feito o cruzamento dessas mudanças com os mapas das variáveis utilizadas. No caso das variáveis categóricas, como solo e unidades de conservação, cada categoria recebeu um valor de probabilidade de evidência do avanço do desmatamento. Já as variáveis contínuas, como

distância à estradas e à sedes municipais, foram categorizadas adotando faixas de distâncias para receber um peso de evidência quanto à mudança de cobertura da terra. Os pesos de evidência são obtidos somente para variáveis categóricas, assim, no caso das variáveis contínuas é necessário transformar os dados, adotando as faixas de distâncias, para simplificar os cálculos. A cada rodada da simulação um mapa de probabilidade de transição foi produzido devido à atualização dos mapas de estradas e de desmatamento.

A única condição que deve ser respeitada para aplicação do método Peso de Evidência é a independência dos mapas das variáveis usadas no modelo (Bonham-Carter *et al.*, 1989). Para tanto, o Dinamica EGO possui uma função que realiza uma série de testes para verificar se os mapas das variáveis de entrada são espacialmente independentes. Esses testes analisam o grau de dependência espacial entre pares das variáveis de entrada (Soares-Filho *et al.*, 2009). O teste de Cramer e o *Joint Information Uncertainty* calculam índices entre 0 a 1, baseados em valores reais e percentuais, respectivamente, de área de sobreposição de pares de mapas das variáveis de entrada para avaliar o grau de dependência espacial desses. Assim, os valores próximos de um (1) indicam maior correlação espacial entre os pares de variáveis. Variáveis com índices dos testes de independência com valor acima de 0,5 devem ser descartadas (Agterberg e Bonham-Carter, 2005; Macedo *et al.*, 2013; Yanai *et al.*, 2012).

A taxa de transição é a quantidade de alteração de células que mudam de uma categoria para outra em uma iteração, sendo nesse estudo a taxa anual de desmatamento. Essa taxa foi calculada por meio da equação usada por Yanai *et al.* (2012). Para tanto, essa equação utiliza o conceito denominado “superfície de floresta fundiária” (SFF). Foi feito um *buffer* de 2 km ao redor das estradas durante o período histórico de calibração de cada cenário para cada município. Esse *buffer* de 2 km do mapa de cobertura da terra representa a SFF. Em seguida, foi feito o cálculo da taxa de desmatamento anual na SFF para cada período histórico, a partir dos dados da área de desmatamento e de floresta dentro e fora da superfície fundiária, para cada cenário (Tabela 1). A razão da média anual da área desmatada e da média anual da área de floresta dentro da SFF fornece uma constante, que representa a porcentagem da taxa de desmatamento em cada período histórico. Essa constante é uma taxa líquida de área desmatada. Esses cálculos também foram realizados para a área de fora da SFF (Tabela 2). Na simulação essas constantes foram usadas na equação de taxa de transição que calcula a conversão de células de florestas para células de desmatamento a cada iteração de acordo com a Equação 1.

Taxa de desmatamento =

$$(\bar{A} \text{ floresta SFF} * \text{Taxa cte desmate SFF}) + (\bar{A} \text{ floresta fora SFF} * \text{Taxa cte desmate fora SFF})$$

$$(\bar{A} \text{ floresta SFF} + \bar{A} \text{ floresta fora SFF})$$

Eq.1

Onde: \bar{A} = área; SFF = superfície de floresta fundiária; cte = constante

Como a área de estradas é atualizada a cada iteração, a cada ciclo da simulação, a área de floresta disponível dentro e fora SFF também é alterada. Dessa forma, a taxa de desmatamento é atualizada a cada iteração.

Tabela 1. Área de desmatamento e de floresta dentro e fora da superfície de floresta fundiária para os cenários Sem Ponte e o Ponte do Rio Negro, por município. (Legenda: SFF=superfície de floresta fundiária)

Cenário Sem Ponte							
Municípios		Iranduba		Manacapuru		Novo Airão	
Área (ha)							
Ano	Classe	Desmate	Floresta	Desmate	Floresta	Desmate	Floresta
2003	SFF	39.038,4	43.344,0	35.026,5	51.956,6	2.229,1	12.687,8
	fora SFF	4.420,8	92.024,6	30.268,8	266.027,0	5.381,2	1709.563,6
2007	SFF	40.979,5	45.355,6	36.918,7	56.070,7	2.544,4	13.364,6
	fora SFF	4.631,0	87.861,6	30.764,1	259.525,4	5.772,9	1708.179,8
Cenário Ponte do Rio Negro							
Municípios		Iranduba		Manacapuru		Novo Airão	
Área (ha)							
Ano	Classe	Desmate	Floresta	Desmate	Floresta	Desmate	Floresta
2008	SFF	41.215,6	51.397,9	41.578,5	59.099,0	2.580,4	13.950,7
	fora SFF	4.589,2	81.624,9	26.219,5	256.926,2	5.801,7	1707.528,9
2012	SFF	42.942,2	60.880,3	43.742,8	41.578,5	2.881,4	15.827,0
	fora SFF	5.113,4	69.891,8	26.631,3	250.080,4	6.023,5	1705.129,9

Tabela 2. Valores de taxa líquida anual média de desmatamento do período histórico usado para calibração de cada cenário dentro e fora da superfície de floresta fundiária. (Legenda: SP=Sem Ponte; PRN=Ponte Rio Negro; SFF=superfície de floresta fundiária)

Cenário/ ano	Municípios					
	Iranduba		Manacapuru		Novo Airão	
	SFF	fora da SFF	SFF	fora da SFF	SFF	fora da SFF
SP/ 2003 a 2007	0,01094	0,00058	0,00875	0,00047	0,00605	0,00005
PRN/2008 a 2012	0,00768	0,00172	0,01074	0,0004	0,00505	0,00003

Funções de alocação de transição

Dinamica EGO converte as taxas líquidas em taxas brutas (taxa líquida multiplicada pelo número de células de uma determinada classe), e, em seguida, transfere a quantidade de mudança da cobertura da terra entre duas funções de alocação dessa transição, o *Expander* e o *Patcher* (Soares-Filho *et al.*, 2009). O *Expander* é uma função expansora do desmatamento, que tem o objetivo de alocar as transições de modo a ampliar a área de uma determinada classe. O *Patcher* é uma função que cria novas manchas, no caso cria novos focos de desmatamento na paisagem. Ambas as funções possuem parâmetros de entrada para ajuste da isometria, variância e tamanho médio das novas manchas formadas (Soares-Filho *et al.*, 2007). Esses parâmetros são ajustados na fase de calibração do modelo para cada cenário.

Validação

O desempenho do modelo passa por uma validação por meio da comparação entre um mapa simulado e um mapa observado para o mesmo ano. Para o cenário SP o mapa simulado de cobertura da terra para o ano de 2008 foi comparado com o mapa observado de 2008, derivado dos dados do projeto PRODES. Para o cenário PRN foram analisados os mapas, simulado e observado, referentes ao ano de 2013. O teste utilizado é o método de similaridade *fuzzy*, o qual considera a alocação e a categoria dentro de uma vizinhança (Hagen, 2003). O Dinamica EGO faz uma avaliação da similaridade de uma vizinhança de células em função de uma célula central entre os mapas simulado e o observado (Soares-Filho *et al.*, 2009). No Dinamica EGO empregou-se uma função de decaimento constante para cálculo das similaridades em uma vizinhança com diferentes janelas de células, iniciando com 1x1 até

11x11 células. Os índices de similaridade entre o mapa real e o simulado podem variar entre serem totalmente diferentes (valor 0) e serem idênticos (valor 1). Valores acima de 50% de similaridade são considerados satisfatórios para a validação do modelo em diversos estudos feitos sobre a dinâmica de desmatamento na Amazônia, conforme os trabalhos de Ximenes *et al.* (2008), Vitel *et al.* (2009), Yanai *et al.* (2012), com Roriz (2013) e Barni *et al.* (2015), com validação de janelas de 3x3, 5x5, 5x5, 5x5 e 7x7, respectivamente.

A similaridade foi avaliada com base no mapa simulado, similaridade máxima, e com base no mapa observado, similaridade mínima, seguindo método proposto por Soares-Filho *et al.* (2009). Considerando a similaridade mínima para janela de 1x1 o ajuste foi de 80,17% e 78,02% para o cenário Sem Ponte e para o cenário PRN, respectivamente. Para validação da quantidade de mudança, foi comparado o número de células de desmatamento entre os mapas simulado e observado para os três municípios em cada cenário (Tabela 3).

Tabela 3. Diferença da quantidade de mudança de cobertura da terra por município dos mapas simulados em relação aos mapas observados (Legenda: SP=Sem Ponte; PRN=Ponte do Rio Negro).

Municípios	Iranduba		Manacapuru		Novo Airão	
	Cenário	Cenário	Cenário	Cenário	Cenário	Cenário
	SP	PRN	SP	PRN	SP	PRN
% de Erro de Desmatamento	+ 0,77	+0,65	+0,74	+0,88	+1,2	-0,39

Município controle

Foi adotado um município a fim de comparar a dinâmica do desmatamento desses municípios com influência direta da Ponte do Rio Negro com outro município também nas intermediações da ponte e pertencente à RMM, mas sem essa influência direta. Para tanto, foi usado o município de Careiro da Várzea, que está localizado a frente do encontro do rio Negro com o rio Solimões, onde se dá a formação do rio Amazonas, e também é vizinho de Manaus. Careiro da Várzea (2.631,144 km²) possui população estimada de 27.357 habitantes (IBGE, 2014a). A taxa de desmatamento em cada ano está sujeita a influências de muitos fatores além da existência de uma ponte, como os grandes ciclos econômicos, os ciclos eleitorais e as variações no esforço de aplicação de restrições ambientais. Assim, uma comparação de taxas de desmatamento no mesmo ano entre municípios semelhantes, mas com e sem uma ponte, oferece a possibilidade de identificar o efeito da ponte de uma forma que

não seria possível em comparações de um mesmo município em épocas históricas diferentes (antes e depois da ponte).

RESULTADOS

Quantificação do desmatamento simulado

No município controle (Careiro da Várzea), as grandes oscilações de taxa de desmatamento foram, de maneira geral, parecidas com as oscilações no município mais próximo à Ponte do Rio Negro (Irاندuba) (Figura 4). Há alguma diferença nos anos 2008 e 2009, mas o grande pico de desmatamento em 2010 e subsequente declínio até 2012 são replicados nos dois municípios.

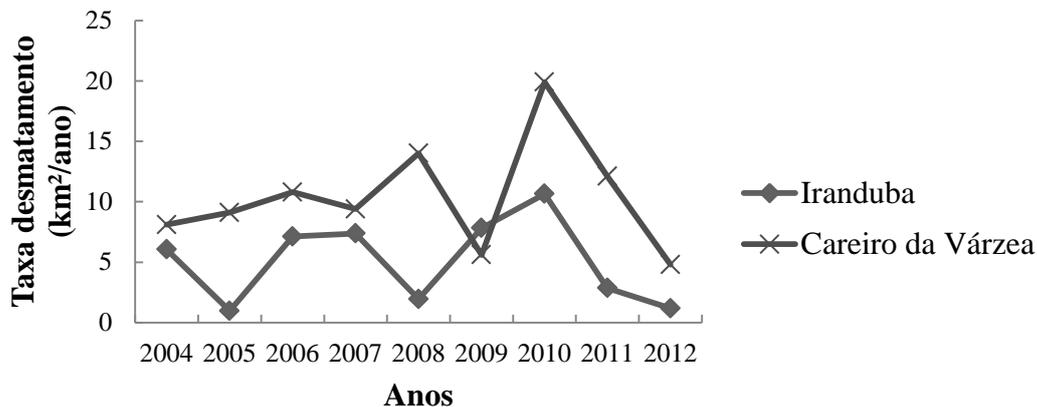


Figura 4. Comparação da taxa de desmatamento do município de Irاندuba com o de Careiro da Várzea, município controle, entre os anos antes e depois (2008) do início da construção da Ponte do Rio Negro (INPE, 2013).

O desmatamento acumulado simulado para ambos os cenários não teve diferença muito grande quanto à área nos três municípios com efeito da ponte (Irاندuba, Manacapuru e Novo Airão) (Figura 5). O resultado obtido quanto à quantidade de desmatamento entre 2013 e 2025 para o total da área de estudo desses três municípios foi 19.650 ha no cenário PRN e 15.393 ha no cenário SP, ou seja, pode ocorrer 27,7% mais desmatamento nesse período no cenário com a ponte.

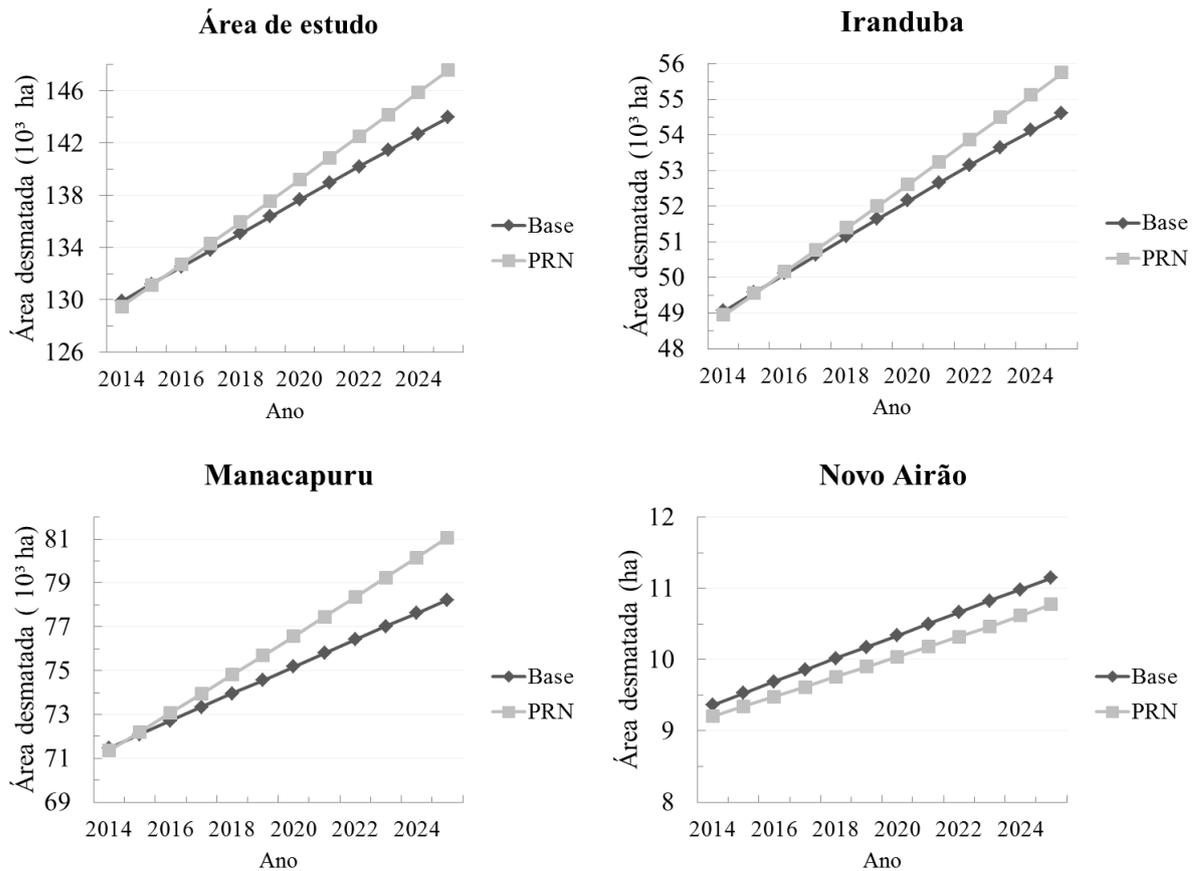


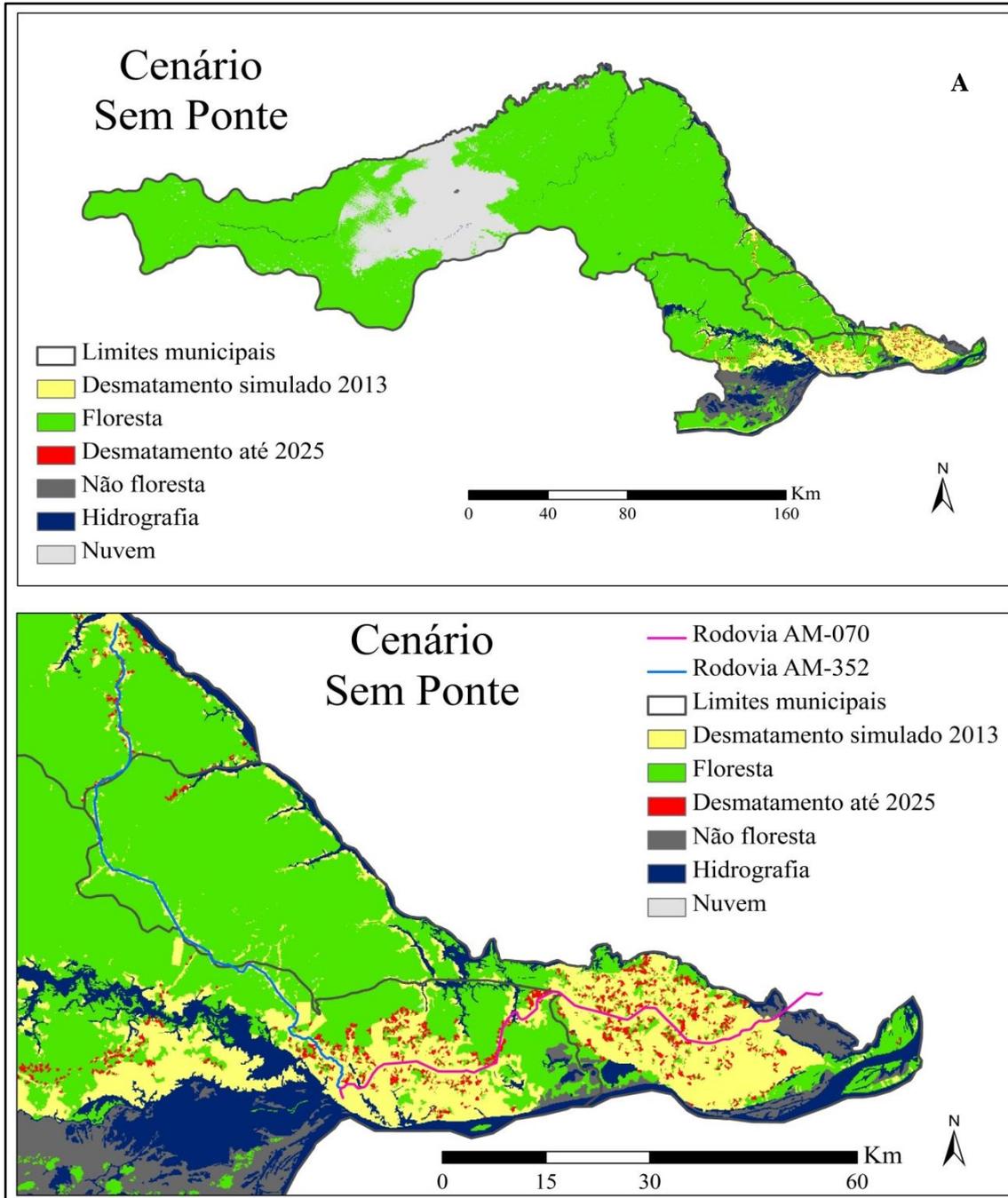
Figura 5. Área (ha) do desmatamento acumulado simulado para cada cenário até o ano de 2025 para toda área de estudo (A) e para cada área dos municípios da margem direita do rio Negro (B, C, D), sob influência direta da Ponte do Rio Negro (PRN).

Quanto à regionalização municipal da simulação, em 2025 o desmatamento acumulado pode ser maior no cenário PRN para Iranduba (7.404,5 ha) e Manacapuru (10.539,3 ha), do que no cenário SP (6.086,8 e 7.361,2 ha, respectivamente). Ou seja, para Iranduba e Manacapuru, pode haver um acréscimo de 21,6 e 43,1%, respectivamente, de área desmatada no cenário PRN (Figura 5B e 5C). Já o município de Novo Airão apresentou aumento de desmatamento igual a 1.706,4 ha para o cenário PRN, e 1.945,4 ha no cenário SP, ou seja, 14% mais desmatamento pode ocorrer nesse período no cenário sem ponte (Figura 5D).

Espacialização do desmatamento

Apesar da pouca diferença entre os dois cenários, a espacialização do desmatamento apresentou variação. Em ambos os cenários o desmatamento simulado ocorre nas áreas com desmatamento prévio, entre o “triângulo” formado pelas sedes municipais (Figura 2). Porém o

desmate no cenário SP ocorre predominantemente nessas áreas com desmatamento prévio, como a área de Iranduba mais próxima à Manaus (Figura 6A). Por sua vez, no cenário PRN o desmatamento avança também para a extensão de Iranduba que é cortada pela rodovia AM-352 (Figura 6B).



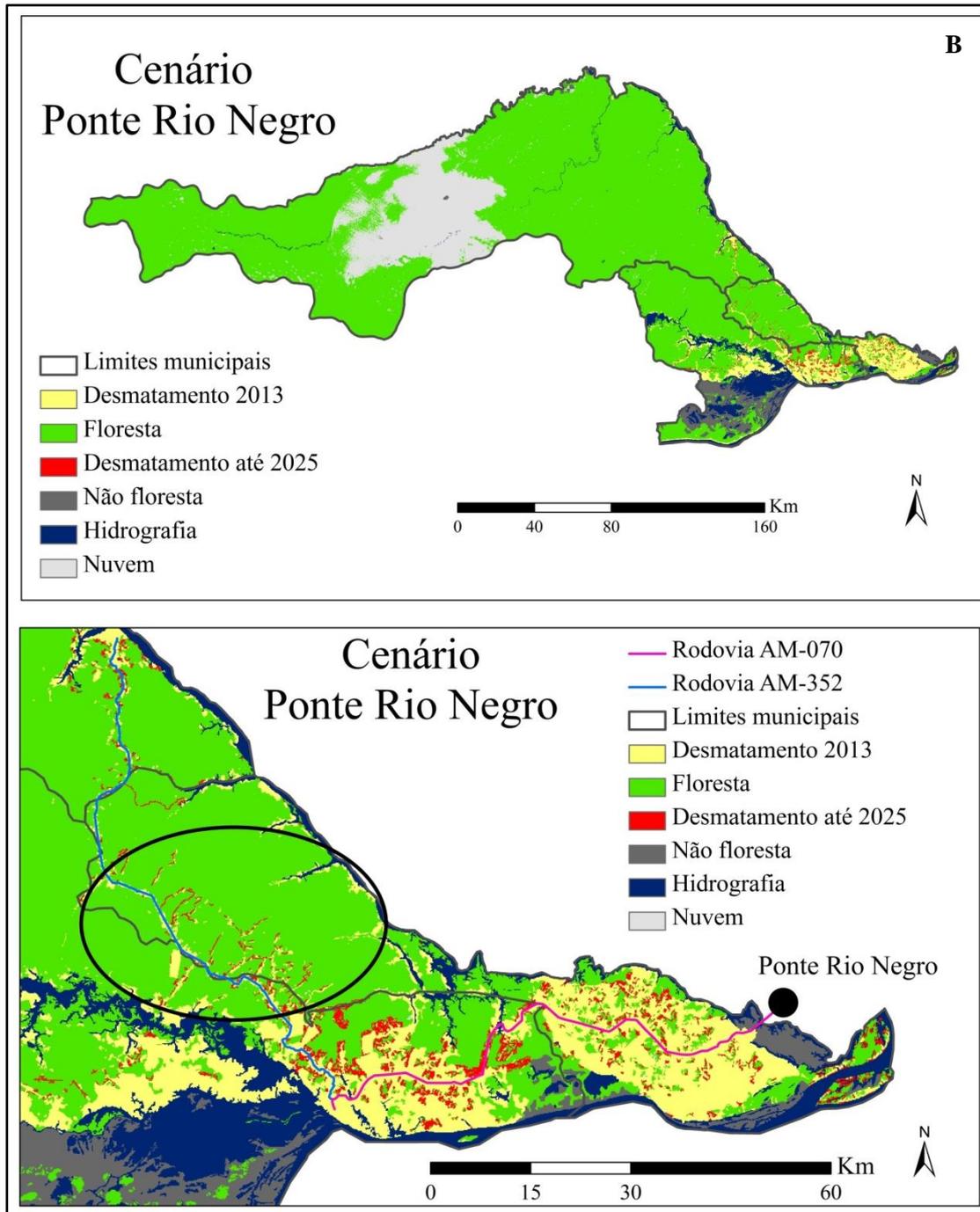


Figura 6. Mapa simulado da dinâmica de desmatamento para o cenário Sem Ponte (A) e para o cenário PRN (B) até o ano de 2025 para a área de estudo composta pelos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão.

DISCUSSÃO

Quantidade de área desmatada nos cenários simulados

As quantidades de desmatamento acumulado para cada cenário são muito parecidas, sendo ligeiramente maior para Iranduba e Manacapuru no cenário PRN. Novo Airão apresenta maior área desmatada na simulação no cenário SP, ao contrário do que seria esperado baseado apenas no efeito da ponte. Neste caso, no entanto, a diminuição do desmatamento ocorre devido à taxa histórica de desmatamento média entre os anos de 2003 a 2007, antes da construção da ponte, ser mais elevada do que a taxa do período de calibração com influência da construção da Ponte do Rio Negro, de 2008 a 2012. No ano de 2005 foi finalizada a pavimentação da AM-352, a fim de viabilizar o potencial turístico de Novo Airão, o que levou a um aumento da área desmatada ao longo dessa estrada nesse período (Moreira *et al.*, 2009). Para o cenário Sem Ponte, o desmatamento simulado representa a continuidade histórica de degradação florestal em decorrência de atividades econômicas como cultivo de frutas e hortaliças, avicultura e remoção de lenha para o pólo oleiro, que produz materiais de construção como tijolos e telhas (Sousa, 2013; Fernandes, 2013; Rodrigues *et al.*, 2014). Com a implementação da Ponte do Rio Negro algumas dessas atividades podem ser intensificadas. Os mercados da capital Manaus passam a ter mais facilidade para comprar, por exemplo, os produtos do setor hortifrutigranjeiro da margem direita do rio Negro. E os centros urbanos da própria área de estudo apresentam crescimento populacional, o que pode demandar uma maior produção desse setor. Iranduba, por exemplo, no ano de 2000 possuía cerca de 69% da população em áreas rurais, em 2010, 71% passou a concentrar-se nas áreas urbanas (IBGE, 2014a).

A comparação de Careiro da Várzea (município controle, sem ponte) com Iranduba (município adjacente à ponte) indica que o declínio do desmatamento após 2010 pode ter ocorrido por fatores sem nenhuma relação com a ponte. A simulação do cenário PRN, portanto, apresenta a tendência do desmatamento para a região, com a região Sul da RMM apresentando uma tendência de diminuição da taxa de desmatamento.

Interpretar as tendências de desmatamento é uma atividade complexa pela existência de tendências opostas ao longo de períodos de série histórica de dados. Por uma combinação de razões, as taxas de desmatamento da Amazônia brasileira passaram por um declínio prolongado a partir de 2004 até 2014 (por exemplo, Assunção *et al.*, 2012). Na medida em que esses municípios representam áreas rurais "típicas" na Amazônia, essa tendência significa que o cenário de ausência de ponte é baseado em parâmetros de um período de maior desmatamento do que o cenário PRN, assim a ponte pode parecer ter um efeito benéfico, que na verdade é espúrio, na redução do desmatamento. Os resultados de simulação indicam um aumento cerca de 28% no desmatamento na área de estudo com a ponte, o que pode parecer

modesto, dada a magnitude das mudanças em curso. Este aumento do desmatamento pode ser menor do que poderia ser por causa dessa tendência de queda em toda a Amazônia. No entanto, o nosso município controle não conseguiu produzir um ajuste consistente para corrigir esse efeito (Figura 5). Essa tendência de desmatamento é uma mistura da tendência regional de diminuição nas zonas rurais e uma tendência do aumento esperado devido a expansão peri-urbana ao redor de Manaus. Desse modo, é provável que o resultado estimado para o cenário da PRN represente um “potencial mínimo” conforme as condições do período de calibração usado, e sem levar em conta as mudanças que poderão ocorrer caso haja a reconstrução da BR-319, que poderá aumentar a migração para essa área.

Outras influências sobre o desmatamento futuro

Para o cenário PRN, além da intensificação das atividades já existentes que podem significar perda adicional da cobertura florestal, outras atividades estão em vias de execução. A construção da Cidade Universitária da Universidade do Estado do Amazonas e a duplicação da AM-070 são alguns dos grandes projetos de desenvolvimento que já estão em construção, além da própria Ponte do Rio Negro e o Gasoduto Coari-Manaus que já foram concluídos. Há ainda planos para criação de um pólo industrial e um pólo naval em Iranduba. Todas essas grandes obras de infraestrutura já estão levando e deverão levar novos agentes econômicos e atividades para a região. Todavia, o período usado para calibração do cenário PRN não captou todas essas transformações previstas da dinâmica espacial da cobertura da terra. Isso porque as muitas atividades planejadas para promover o desenvolvimento econômico ainda estão concentradas em Iranduba, área mais próxima de Manaus. Diversas atividades do setor imobiliário, como a construção de grandes condomínios residenciais (IPAAM, 2012; Maciel e Lima, 2013), estão concentradas na área urbana de Iranduba e ao longo da rodovia AM-070. Assim, esse baixo aumento da taxa de desmatamento no cenário sob influência da Ponte do Rio Negro deve ser visto com ressalva, uma vez que muitas das obras previstas para promover o desenvolvimento da região ainda não foram finalizadas. Uma importante obra planejada é a reconstrução da rodovia BR-319, que permitiria a ligação da Amazônia Ocidental com a região Sul do Arco do Desmatamento (Fearnside e Graça, 2006). Se a tendência de crescimento populacional permanecer como nos últimos anos, a população da região continuará aumentando (IBGE, 2014b), o que irá demandar mais moradia, água tratada, saneamento básico, transporte público, produção de alimento, entre outras necessidades.

Alteração da paisagem

Ainda assim, já é possível observar algumas mudanças de cobertura da terra sob efeito Ponte do Rio Negro. Houve uma expansão dos ramais secundários da AM-352 nos últimos anos. Já havia alguns ramais, mas agora existem ramais recém-abertos com focos de desmatamento, como o ramal do Bom Jesus com 10,5 km de extensão, que surgiu depois de 2008 (Rodrigues *et al.*, 2014). Isso acarretou na diferenciação do resultado da localização espacial do desmatamento entre os dois cenários simulados. No cenário SP houve uma concentração do desmatamento na região próxima de Manaus e das sedes de cada município. Já no cenário PRN o desmatamento tornou-se mais difuso. Além de ocorrer na região do entorno de Manaus e das sedes, ele também se espalhou por ramais ao redor da AM-352, zona antes pouco desmatada. Nessa região é possível observar a presença de chácaras que são usadas como áreas de lazer nos finais de semanas por pessoas que moram em Manaus.

Muitas das novas ocupações desses ramais são de pessoas oriundas da metrópole Manaus que têm interesse em áreas de lazer e de veraneio, já difíceis de encontrar na metrópole. Essa região já despertava interesse por seus atrativos ecoturísticos, com suas praias fluviais, igarapés e balneários. Recentemente essas atividades turísticas (como o turismo na praia fluvial do Açutuba), facilitadas pela travessia de uma margem a outra do rio Negro, em apenas cinco minutos, têm atraído um número maior de turistas, que demonstram interesse em adquirir terras na região, tanto para veraneio e/ ou moradia em uma área que ainda apresenta amenidades urbanas (Maciel e Lima, 2013; Rodrigues *et al.*, 2014), configurando-se assim um quadro de expansão periurbana.

O avanço da capital Manaus rumo a esses municípios incide sobre uma região totalmente diferente em aspectos econômicos, sociais e de infraestrutura da região do Arco do Desmatamento. Essa região da margem direita do rio Negro era ocupada por populações ancestrais, e como prova disso há centenas de sítios arqueológicos, principalmente no distrito de Paricatuba em Iranduba (Lima e Neves, 2011; Guimarães, 2012). Já em sua história recente, essa área da confluência dos rios Solimões e Negro teve o seu primeiro projeto de colonização elaborado pelo Estado no ano de 1941. Esse projeto representa o primeiro esforço do Estado de potencializar a produção agrícola na região (Rodrigues *et al.*, 2014). Também na década dos anos 1940 houve uma migração de japoneses para o Amazonas, o que abriu caminho para plantação de novas culturas, além das práticas extrativistas e cultivos de subsistências ligados à cultura indígena e ribeirinha (Homma, 2009). Essa região entre os dois rios possui extensos sítios de várzea (solo rico e favorável à agricultura), que abrigam a

produção agrícola ribeirinha. No final da década de 1970, a prefeitura de Manaus incentivou a produção hortifrutigranjeira na margem esquerda do rio Solimões de modo a abastecer a capital (Leitão, 2007). Assim, a economia e produção desses municípios sempre estiveram atreladas a servir Manaus. Iranduba e Manacapuru servindo com a produção agrícola e, a partir da década de 1970, com a produção oleira para o ramo da construção civil devido à existência de grandes depósitos de matéria-prima argilosa na região (Pereira, 2006). A produção das olarias foi intensificada com a implementação da Zona Franca de Manaus a partir da existência de incentivos fiscais para as vendas destinadas a Zona Franca de Manaus e instalação de empresas no interior (NEAPL, 2009). Conforme o último censo agropecuário do IBGE (Fernandes, 2013), nesse âmbito, a principal atividade econômica dos três municípios é a lavoura (temporária e permanente), seguida da pastagem. O uso da terra da região é caracterizado como mosaico de ocupações, com agricultura familiar e criação de gado. Além disso, esses municípios, principalmente Novo Airão, sempre tiveram o turismo ecológico como uma destacada atividade da região.

É importante ressaltar que nessa região existem cinco unidades de conservação, sendo três de proteção integral (PI) e duas de uso sustentável (US) (Figura 7). Essas unidades foram criadas em basicamente três períodos distintos, no início dos anos de 1980, meados da década de 1990 e, mais recentemente, uma unidade de uso sustentável em 2008. Até 2013 todas as unidades apresentaram baixo desmatamento (Tabela 4), com exceção da Área de Proteção Ambiental (APA), que computou 15% do seu território desmatado.

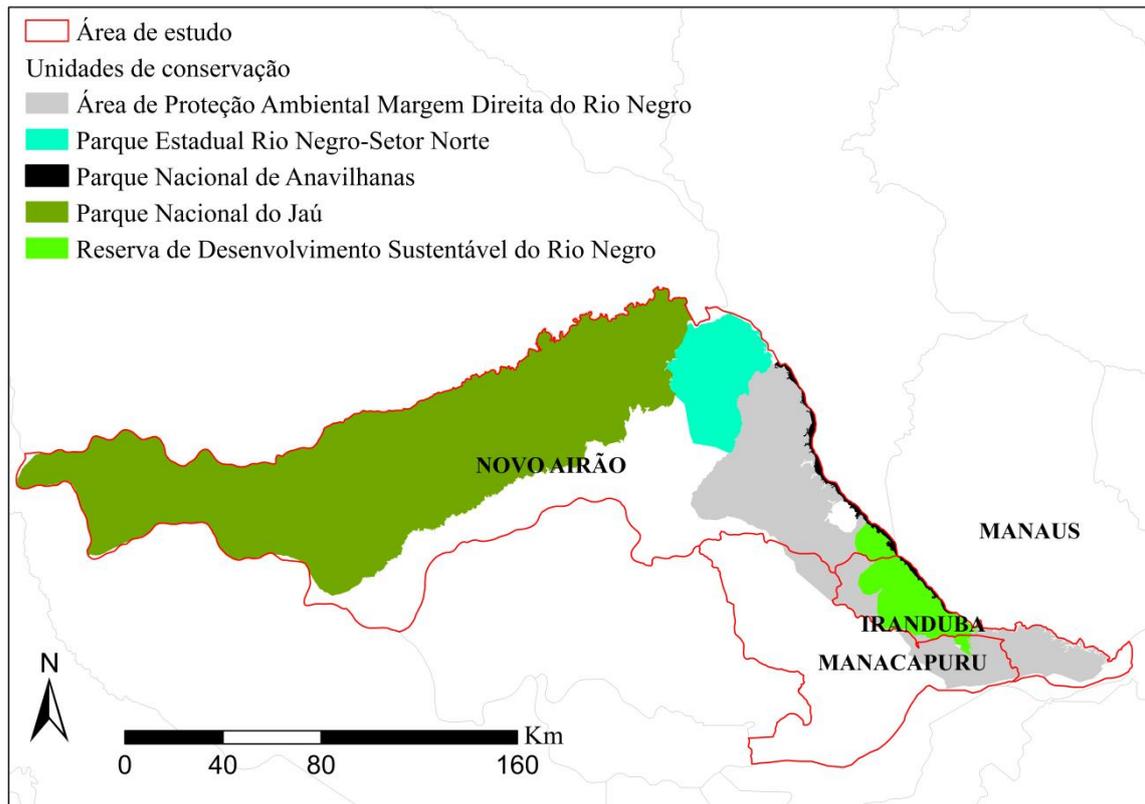


Figura 7. Unidades de conservação da área de estudo, dados obtidos MMA (2015).

Tabela 4. Desmatamento nas unidades de conservação de proteção integral (PI) e de uso sustentável (US) da área de estudo (INPE, 2015).

Unidade de Conservação	Categoria	Instância Federativa	Ano de criação	Desmatamento (Km ²) até 2013 (%)
Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro-Paduari-Solimões	US	Estadual	1995	677,9 (15%)
Parque Estadual do Rio Negro-Setor Norte	PI	Estadual	1995	8,0 (0,5%)
Parque Nacional de Anavilhanas	PI	Federal	1981	11,7 (0%)
Parque Nacional do Jaú	PI	Federal	1980	39,7 (0,2%)
Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Rio Negro	US	Estadual	2008	60,3 (6,1%)

Muito desse baixo índice de desmatamento deve-se também à dificuldade de acesso a essas unidades. O acesso via terrestre é limitado às rodovias AM-070 e AM-352, e suas estradas secundárias. Em determinadas regiões das unidades de conservação só é possível chegar por via fluvial ou aérea, e, nesse caso, por hidroavião. Apesar dessa falta de acessibilidade, a Ponte do Rio Negro pode induzir o aumento da degradação ambiental da região. Decorrente dessa preocupação, a RDS do Rio Negro foi criada no período de início da construção da Ponte do Rio Negro, como parte dos planos do governo para buscar amenizar os impactos ambientais da ponte (Termo de conciliação, 2009; FAS, 2010). Estima-se que a RDS do Rio Negro abrigue cerca de 600 famílias, sendo a maioria de pequenos agricultores (ISA, 2015). A simulação para o cenário PRN apresentou desmatamento dentro da RDS do Rio Negro, com aumento de 1.025,2 ha de área desmatada em 2025 em relação a 2013. Na APA da Margem Direita do Rio Negro houve um aumento de 13.628,1 ha. Também nesse período, no cenário Sem Ponte o aumento do desmatamento foi menor, com uma área total de 201,6 ha na RDS, e 10.910,8 ha na APA. Isso reforça a potencialidade de dispersão do desmatamento com a Ponte do Rio Negro mesmo em áreas com proteção ambiental.

Periurbanização

Nos últimos anos houve uma inversão da maioria da população urbana e rural de Iranduba. No ano 2000 a população rural representava 69,23% do total, e já em 2010 a área rural passou a abrigar somente 28,94% da população (IBGE, 2014b). Com a maioria dos seus habitantes vivendo na área urbana, Iranduba já vem apresentando uma diversificação de sua base socioeconômica (Rodrigues *et al.*, 2014; Fernandes, 2013). E agora, a Ponte do Rio Negro viabiliza a integração da mancha urbana da capital com as áreas urbanas das terras da margem direita (Sousa, 2011).

A recente evolução socioeconômica de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão ocorreu sob influência da expansão da Zona Franca de Manaus, especialmente do Polo Industrial de Manaus. As atividades desenvolvidas nesses municípios estão atreladas aos recursos próprios, como recursos minerais e atrativos naturais ao turismo e lazer (Ehnert, 2011; Sá *et al.*, 2010). Contudo, essa área tem despertado novos interesses, o que levou a valorização de suas terras. Somado a isso, tem-se o aumento do preço do terreno na metrópole Manaus, até mesmo para a indústria (Sá *et al.*, 2010).

A especulação imobiliária é umas das atividades econômicas de mais destaque na margem direita do Rio Negro atualmente (Ehnert, 2011; Sousa, 2013). Por exemplo, a

publicidade do condomínio Residencial Bela Vista, em Iranduba, explorou a vantagem da localização próxima a Manaus, e até destacou empreendimentos que eram apenas projetos, como a construção do Shopping Ponta Negra e a Cidade Universitária da UEA. Esse *boom* no mercado imobiliário pode ser visto como o início da expansão urbana de Manaus. A valorização e a especulação imobiliária trazem diversos problemas ambientais, sociais e implicações para o espaço urbano-regional, principalmente ao longo de estradas e cerca das áreas urbanas de Iranduba e Manacapuru, que estão sendo desmatadas (Sousa, 2013). Essa proximidade de uma grande metrópole com uma área rural pode inclusive aumentar a taxa de desmatamento, visto que os grandes proprietários muitas vezes moram em centros urbanos, e assim os recursos financeiros para o desmatamento também estariam mais próximos (Fearnside, 2008).

A posição de Manacapuru na atual configuração da rede urbana da região deu-se, principalmente, por seu histórico antes da construção da Ponte do Rio Negro. Manacapuru já tinha papel de destaque junto às cidades mais próximas e menores, pois dispõe de arranjos institucionais e serviços urbanos que os municípios ao seu redor não possuem (Schor *et al.*, 2007). Segundo os planos plurianuais do governo para Manacapuru, consta a destinação de investimentos para o porto hidroviário do município para intensificar o comércio entre os centros consumidores e produtores da região (da Silva, 2013).

Em áreas urbanas, a falta de moradia e a precariedade habitacional são uns dos fatores principais de degradação ambiental nas metrópoles da região Norte (Cohre, 2006). Em Manaus o desmatamento observado nas últimas décadas tem ocorrido devido à expansão horizontal da cidade. Nos últimos anos a ocupação intensa e desordenada, resultante de invasões por população de baixa renda, contribuiu para a supressão da floresta primária na área urbana de Manaus (Geocidades, 2002). Como exemplo disso, no início dos anos 2000 já era possível observar a expansão urbana de Manaus atingindo os limites da Reserva Florestal Adolpho Ducke. No ano de sua criação, em 1963, a reserva era cercada por uma floresta contínua e preservada. Atualmente bairros populares fazem contato com a margem Sul da reserva, e os limites Norte, Leste e Oeste são rodeados por uma floresta impactada e fragmentada (Oliveira *et al.*, 2008). Com a ampliação da mancha urbana de Manaus para esses municípios, é possível que essa dinâmica seja levada também para a outra margem do rio Negro, caso não haja uma política de controle ambiental efetiva. Em áreas rurais ainda existe uma fragilidade da regularização fundiária e dominial dos terrenos nessa região (Rodrigues *et al.*, 2014; Sousa, 2013). A falta de delimitação das propriedades aumenta a insegurança da regularização fundiária, o que dificulta que a adoção de medidas legais para

proteção ambiental até que o *status* da terra seja definido (Sparoveck *et al.*, 2012). Assim, se não forem tomadas medidas efetivas de ordenamento territorial, é possível que aumente o número de ocupações irregulares na margem direita do rio Negro.

Nessa região ocorreu um aumento do número de pequenas propriedades, mas ainda há concentração de terras (Fernandes, 2013). Há que se destacar, principalmente em Iranduba, o interesse na conversão de terra rural em terra urbana, visto que a terra urbana tem maior valor no mercado (Maciel e Lima, 2013). Alguns proprietários de lotes de 2 a 5 hectares passaram a fazer loteamento de suas propriedades, pois com a venda de um número maior de terrenos eles podem obter mais lucro (Sousa, 2013).

Apesar de no ano de 2014 a Amazônia Legal brasileira ter atingido a segunda menor taxa de desmatamento, 4.848km²/ano, desde 1988, ano de início do monitoramento oficial, (Tollefson, 2015) houve um aumento em 2015 (Fonseca *et al.*, 2015). Isso se dá devido, principalmente, às diretrizes básicas do desmatamento não terem mudado, como a pobreza e a rentabilidade da agricultura, os planos de construção de estradas e o aumento contínuo de população e investimento na região (Fearnside, 2015). Aliado a esses fatores e a essas incertezas tem se ainda que as metrópoles da região Norte vivem uma urbanização desordenada e com falta de gestão e planejamento urbano-habitacional, o que potencializa ainda mais a degradação ambiental. A realidade da mudança de uso e cobertura da terra é um sistema complexo, e o modelo AGROECO aqui empregado é uma representação simplificada dessa realidade, mas que pode balizar estratégias de organização territorial e de conservação ambiental para tomadas de decisão.

CONCLUSÃO

Segundo as presunções adotadas, houve pouca diferença entre a simulação do desmatamento acumulado para o cenário SP e o PRN no período de 2013 a 2025. Apesar disso, as simulações demonstraram que a construção da Ponte do Rio Negro irá alterar a dinâmica de cobertura da terra na margem direita do rio Negro, principalmente no município de Iranduba, em relação à localização do desmatamento. Assim, até o ano de 2025, a região ao longo da rodovia AM-352, entre Iranduba e Manacapuru, poderá ser mais intensamente desmatada. Esse avanço da capital Manaus rumo a esses municípios constitui uma dinâmica totalmente diferente em aspectos econômicos, sociais e de infraestrutura da região do Arco do Desmatamento. O processo de periurbanização dos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão não está isento de dar continuidade, e até mesmo de intensificar, a dinâmica de

desmatamento nessa região. Se não houver planejamento e monitoramento de novas ocupações, a melhoria do acesso de uma metrópole para sua área de influência poderá alterar a dinâmica de desmatamento da região.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 304020/2010-9; 573810/2008-7), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM: Proc. 708565) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ15.125) por recursos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGU (Advocacia Geral da União) 2009. Termo de Conciliação, Controvérsia jurídica decorrente da existência da ação civil pública nº 2008.32.00.006041-6, versando acerca da edificação da Ponte sobre o Rio Negro, no Estado do Amazonas. Estado do Amazonas. Brasília, Distrito Federal, 13/05/2009. (agu.gov.br/page/download/index/id/600533) Acesso em: 17/07/2015.
- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. 2005. Measuring the performance of mineral-potential maps. *Natural Resources Research*, 14: 1-17.
- Aguiar, A. P. D.; Camara, G.; Escada, M. 2007. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, 209: 169-188.
- Allen, A. 2003. Environmental planning and management of the peri-urban interface: perspectives on an emerging field. *Environment and Urbanization*, 15(1): 135-148.
- Amazonas. 2011. Portal do Governo do Estado do Amazonas. (<http://www.amazonas.am.gov.br/2011/10/governo-do-amazonas-conclui-ponte-rio-negro-um-marco-para-a-integracao-da-regiao-metropolitana-de-manaus/>) Acesso em: 06/09/2013.
- Araújo, L. de C. 2014. *Periurbanização na Metrópole: Bairro Chácaras Bom Retiro, Goiânia-GO*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Estudos Sócio-ambientais/Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. 125p.

- Assunção, J., Gandour, C. C., Rocha, R. 2012. Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies? Climate Policy Initiative (CPI) Working Paper, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Pontifca Universidade Católica (PUC). 37 p.
- Barni, P. E.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A. 2015. Simulating Deforestation and Carbon Loss in Amazonia: Impacts in Brazil's Roraima State from Reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). *Environmental Management*, 55(2): 259-278. doi: 10.1007/s00267-014-0408-6
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F. 1989. Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential. In: Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. (Eds). *Statistical Applications in Earth Sciences*. Geological Survey of Canada, Ottawa, Ontario. p. 171-183.
- COHRE (Centre on Housing Rights and Evictions), 2006. Conflitos urbano-ambientais em capitais amazônicas: Boa Vista, Belém, Macapá e Manaus. 92p. (<http://www.ceap.br/material/MAT23022012190943.pdf>) Acesso em: 20/06/2015.
- da Silva, M. B. 2013. As Ações do Poder Público na Produção do Espaço Urbano-Regional em Manacapuru – Amazonas – Brasil. In: XIII Simpósio Nacional de Geografia Urbana, Rio de Janeiro, RJ: Universidade Estadual do Rio de Janeiro. p. 1-15.
- Ehnert, A. R. 2011. *A região metropolitana de Manaus e as migrações pendulares*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana/Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo. 111p.
- EMBRAPA. 2005. Brasil em Relevô. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Brasília, DF. (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/am/am.htm>) Acesso em: 03/05/2015.
- FAS. 2010. Fundação Amazonas Sustentável (FAS). (<http://fas-amazonas.org/2010/06/fas-e-acs-rio-negro-discutem-investimentos-do-bolsa-floresta-renda-e-social/?lang=pt>). Acesso em 01/07/2015.
- Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A. 2006. BR-319: Brazil's Manaus - Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management*, 38(5): 705-716.
- Fearnside, P.M. 2008. Will urbanization cause deforested areas to be abandoned in Brazilian Amazonia? *Environmental Conservation*, 35(3): 197-199.
- Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A.; Keizer, E.W.H.; Maldonado, F. D.; Barbosa, R. I.; Nogueira, E. M. 2009. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito

- estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR - 319). *Revista Brasileira de Meteorologia*. 24(2): 208-233.
- Fearnside, P. M. 2015. Deforestation soars in the Amazon. *Nature*, 521:423. doi:10.1038/521423b
- Fernandes, M. R. 2013. *Diagnóstico de dados socioeconômicos secundários dos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão – Parte I – Levantamento e sistematização de dados dos Censos Agropecuários do Ibge*. Fundação Vitória Amazônica, Manaus, Amazonas. 115p.
- Fonseca, A., Souza Jr., C., & Veríssimo, A. 2015. Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (maio de 2015) SAD Belém, PA, Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia (IMAZON) (<http://amazon.org.br/publicacoes/boletim-do-desmatamento-sad-junho-2015/>) Acesso em: 07/08/2015.
- GEO-Cidades, 2002. *Relatório Ambiental Urbano Integrado de Manaus*. Projeto GEO Cidades, Manaus, Amazonas. 187p.
- Guimarães, A. M. 2012. *Aproveitamento Turístico do Patrimônio Arqueológico do Município de Iranduba, Amazonas*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arqueologia/ Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 273 p.
- Hagen, A. 2003. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(3): 235-249.
- Homma, A. K. O. 2009. Os japoneses na Amazônia e sua contribuição ao desenvolvimento agrícola. *Somanlu*, 9(1): 113-133.
- IBGE. 2007. Banco de dados – Geociências. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ. (http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_geo) Acesso em: 21/01/2008.
- IBGE. 2014a. Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ. (<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=13&search=amazonas>) Acesso em: 04/05/2015.
- IBGE. 2014b. Estimativas de População. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ. (http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_tcu.shtml) Acesso em: 19/05/2015.

- INPE. 2013. Projeto PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. (<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>) Acesso em: 02/02/2015.
- INPE. 2015. Projeto PRODES - Desmatamento nas Unidades de Conservação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. (<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesuc.php>) Acesso em 01/07/2015.
- IPAAM. 2012. Estudo Prévio de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental: Cidade Universitária. Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), Manaus, AM. (www.ipaam.am.gov.br/pagina_interna.php?cod=92) Acesso em: 12/06/2014.
- ISA. 2015. Unidades de Conservação no Brasil. Instituto Socioambiental (ISA), Brasília, DF. (<http://uc.socioambiental.org/pt-br/uc/5522>) Acesso em 31/06/2015.
- Kirby, K. R.; Laurance, W. F.; Albernaz, A. K. M.; Schroth, G.; Fearnside, P. M.; Bergen, S.; Ventincinque, E. M.; Costa, C. da. 2005. The Future of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures*, 38(4): 432-453.
- Laurance, W.F.; Albernaz, A.K.M.; Schroth, G.; Fearnside, P.M.; Bergen,S.; Ventincinque, E.M.; Costa, C. da. 2002. Predictors of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Journal of Biogeography*, 29: 737-748.
- Leitão, L. F. 2007. *Ecoturismo e sustentabilidade social como um desafio para a Amazônia: um estudo de caso em Iranduba*, AM. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências do Ambiente/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 137 p.
- Lima, H. P.; Neves, E. G. 2011. Cerâmica de Tradição de Borda Incisa/ Barrancóide na Amazônia Central. *R. Museu Arq. Etn.*, São Paulo, 21: 205-230.
- Macedo, R. de C.; Almeida, C. M. de; Santos, J. R. dos; Rudorff, B. F. T. 2013. Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19(2): 313-337.
- Maciél, J. B.; Lima, M. C. 2013. A Metropolização do Espaço em Iranduba: Uma Nova Configuração com Expansão Imobiliária. *In: II Simpósio de Estudos Urbanos – A dinâmica das cidades e produção do espaço*, Campo Mourão, Paraná: Universidade Estadual do Paraná. 24p.
- MMA. 2015. Mapas – Unidades de Conservação. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), Brasília, DF. (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>) Acesso em: 04/05/2015.

- Moreira, M. P.; Santos, C.J. Ferreira, O.J.M.R. 2009. Desflorestamento ao longo das estradas AM – 070 (Manaus/Iranduba/Manacapuru) e AM – 352 (Manacapuru/Novo Airão) na Amazônia Central: subsídios para o planejamento. *In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Rio Grande do Norte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 747-754.
- Neapl (Núcleo Estadual de Arranjos Produtivos Locais), 2009. *Plano de Desenvolvimento Preliminar: Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral Cerâmico-Oleiro - Cidade Polo: Iranduba*. Manaus, Amazonas. (http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1248265306.pdf) Acesso em: 27/01/2014.
- Oliveira, M. L. de; Baccaro, F. B.; Braga-Neto, R.; Magnusson, W. E. 2008. *Reserva Ducke: A biodiversidade amazônica através de uma grade*. Áttema Design Editorial, Manaus, Amazonas. 170p.
- Pereira, H. A. 2006. *Fronteiras da vida: O tradicional e o moderno no Cacau Pirêra/Iranduba*. Dissertação de Mestrado/ Programa de Pós-Graduação em Sociedade e Cultura na Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 204 p.
- Rodrigues, H.O.; Soares-Filho, B.S; Costa, W.L.S. 2007. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. *In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Santa Catarina: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 3089-3096.
- Rodrigues, M. da S.; Pedrollo, C. T.; Borges, S. H.; Camargo, Y. da R.; Moreira, M. P.; Amaral, G. S.; Brandão, D. O.; Iwanaga, S. 2014. *Iranduba: Características Socioambientais de um Município em Transformação*. Documentos Técnicos, Fundação Vitória Amazônica, Manaus, Amazonas. 24p.
- Roriz, P. A. C. 2013. *Como o Novo Código Florestal (Lei N° 12.651/2012) afeta o desmatamento no município de Boca do Acre – AM*. Dissertação de Mestrado, Ciências de Florestas Tropicais/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 89p.
- Sá, M. T. de V.; Silva, C. E. M. da; Sá, L. Y. B. de A.V. 2010. A Ponte sobre o Rio Negro e seus Impactos. *T&C Amazônia*, 18: 11-17.
- Schor, T.; Costa, D. P.; Oliveira, J. A. 2007. Notas sobre a tipificação da rede urbana na calha do rio Solimões, Amazonas. *In: Anais do XII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional*, Belém, Pará, 13p.

- SIPAM. 2007. Mapa de Vegetação. Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM), Manaus, AM. Disponível em: (http://www.dpi.inpe.br/amb_data/Shapefiles/Vegeta%C3%A7%C3%A3o%20SIPAM/) Acesso em: 04/05/2015
- Soares-Filho, B.S.; Pennachin, C.L.; Cerqueira, G. 2002. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3): 217-235.
- Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D. C.; Curran, L. M.; Cerqueira, G. C.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; Voll, E.; Mcdonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440: 520-523.
- Soares-Filho, B. S.; Cerqueira, G.; Araújo, W.; Voll, E. 2007. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. *Megadiversidade* 3:74-86.
- Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Costa, W.L. 2009. *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*. Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 115p.
- Sousa, I. S. 2013. *A ponte Rio Negro e a Região Metropolitana de Manaus: adequações do espaço urbano-regional à reprodução do capital*. 2013. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana/Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo. 249p.
- Souza Jr., C.; Brandão Jr., A.; Anderson, A.; Veríssimo, A. 2005. The Expansion of Unofficial Roads in the Brazilian Amazon. *O Estado da Amazônia* (Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia), Belém, Pará. 1: 1-2.
- Sparovek, G.; Bernds, G.; Barreto, A. G.; Klug, I. L. F. 2012. The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? *Environmental Science & Policy*, 16: 65-72.
- Tollefson, J. 2015. Battle for the Amazon. *Nature*, 520:20-23.
- UFSM, 2008. Laboratório de Cartografia da Universidade Federal de Santa Maria. (http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=28) Acesso em: 05/05/2015.
- Vitel, C. S. M. N.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. de A. 2009. Análise da inibição do desmatamento pelas áreas protegidas na parte Sudoeste do Arco de desmatamento. *In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Rio Grande do Norte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 6377-6384.

- Ximenes, A. de C.; Almeida, C. M. de; Amaral, S.; Escada, M. I. S.; Aguiar, A. P. D. de. 2008. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 14(3): 370-391.
- Yanai, A. M.; Fearnside; P. M.; Graça, P. M. L. A.; Nogueira, E. M. 2012. Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: Simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve. *Forest Ecology and Management*, 282: 78-91.

Conclusão

A área total de desmatamento alcançado em 2025 na simulação de cada cenário foi pouco diferente. Entretanto, para os municípios de Iranduba e Manacapuru, a maior redução de cobertura florestal ocorreu no cenário Ponte do Rio Negro (PRN), já para Novo Airão foi no cenário Sem Ponte (SP). Isso é resultado principalmente devido à diferença das taxas históricas usadas para simular a taxa anual em cada cenário. No ano de 2005, período antecedente a Ponte do Rio Negro, a pavimentação da rodovia AM-352, que dá acesso à sede de Novo Airão foi finalizada, o que contribuiu para o desmatamento desse município nesse período.

Muito das mudanças advindas com a construção da Ponte do Rio do Negro concentram-se ainda no entorno da AM-070, especificamente entre o município de Iranduba e Manaus. Entretanto, o modelo foi capaz de captar o início da difusão do desmatamento a partir da construção da ponte. A região Oeste de Iranduba, zona rural e até então mais conservada do município, teve mais desmatamento no cenário com a Ponte do Rio Negro do que no cenário Sem Ponte. Isso pode ser atribuído, em grande parte, ao aumento do número de pessoas interessadas em adquirir terrenos para veraneio.

A região da margem direita do rio Negro apresenta amenidades ambientais e muitos lugares turísticos que despertam o interesse das pessoas, principalmente de Manaus, para lazer e fuga do caos urbano. Além do aumento do número de turistas, aos poucos outras pessoas também chegam à região interessadas em adquirir um terreno para moradia. Outras atividades também se pautam na melhoria da malha viária, com a construção da Ponte do Rio Negro e com a duplicação da AM-070, como os setores hortifrutigranjeiro, de olarias, e de serviços.

Esse processo de periurbanização da região, principalmente em Iranduba, não está isento de dar continuidade, e até mesmo de intensificar, a dinâmica de desmatamento nessa região. A melhoria do acesso de uma metrópole para sua área de influência pode intensificar o desmatamento da região se não houver planejamento e monitoramento do processo de ocupação.

Referência bibliográficas

Allen, A. 2003. Environmental planning and management of the peri-urban interface: perspectives on an emerging field. *Environment and Urbanization*, 15(1): 135-148.

- Araújo, L. de C. 2014. *Periurbanização na Metrópole: Bairro Chácaras Bom Retiro, Goiânia-GO*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Estudos Sócio-ambientais/Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. 125p.
- Barber, C. P.; Cochrane, M. A.; Souza Jr, C. M.; Laurance, W. F. 2014. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, 177: 203-209.
- Becker, B. K. 2001. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? *Parcerias Estratégicas*, 12: 135-159.
- Escada, M.I.S.; Alves, D.S. 2001. *Mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: Impactos sócio-ambientais na ocupação de regiões de fronteira agrícola*. Relatório Técnico Parcial/Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, SP. 45p.
- Fearnside, P.M. 2003. A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, AM. 134 p.
- Fearnside, P.M. 2012. A tomada de decisão sobre grandes estradas amazônicas. In: A. Bager (Ed.) *Ecologia de Estradas: Tendências e Pesquisas*. Editora da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, p.59-75.
- Geist, H. J. & Lambin, E. F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2):143-150.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2014. Projeto Prodes - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. (<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>) Acesso em: 02/02/2015.
- Kirby, K. R.; Laurance, W. F.; Albernaz, A. K. M.; Schroth, G.; Fearnside, P. M.; Bergen, S.; Ventincinque, E. M.; Costa, C. da. 2005. The Future of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures*, 38(4): 432-453.
- Laurance, W.F.; Albernaz, A.K.M.; Schroth, G.; Fearnside, P.M.; Bergen,S.; Ventincinque, E.M.; Costa, C. da. 2002. Predictors of Deforestation in the Brazilian Amazon. *Journal of Biogeography*, 29: 737-748.
- Lima, M. C. 2010. Amazônia Ocidental e Geografia: Região Metropolitana de Manaus e BR 319 – Território e Meio Ambiente. *Revista GEONORTE*. 1(1): 47-70.
- Moreira, M. P.; Santos, C.J. Ferreira, O.J.M.R. 2009. Desflorestamento ao longo das estradas AM – 070 (Manaus/Iranduba/Manacapuru) e AM – 352 (Manacapuru/Novo Airão) na Amazônia Central: subsídios para o planejamento. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro

- de Sensoriamento Remoto, Natal, Rio Grande do Norte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p.747-754.
- Neapl (Núcleo Estadual de Arranjos Produtivos Locais), 2009. *Plano de Desenvolvimento Preliminar: Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral Cerâmico-Oleiro - Cidade Polo: Iranduba. Manaus, Amazonas.* (http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1248265306.pdf) Acesso em: 27/01/2014.
- Nepstad, D. C.; McGrath, D. G.; Soares-Filho, B. 2011. Systemic conservation, REDD, and the future of the Amazon basin. *Conservation Biology*, 25: 1113-1116.
- Portal do Governo do Estado do Amazonas, 2009. (<http://www.amazonas.am.gov.br/2009/04/lula-destaca-papel-estrategico-da-ponte-que-est-sendo-construda-sobre-o-rio-negro/>) Acesso em: 26/09/2013.
- Riker, S.R.L. Recursos minerais. 2010. In: Maia, M.A.M.; Marmos, J.L. (Org.). *Geodiversidade do estado do Amazonas*, Manaus, Amazonas, p.125-140.
- Sá, M. T. de V.; Silva, C. E. M. da; Sá, L. Y. B. de A.V. 2010. A Ponte sobre o Rio Negro e seus Impactos. *T&C Amazônia*, 18: 11-17.
- Seplan (Secretaria de Estado de Planejamento), 2014. Perfil da Região Metropolitana de Manaus 2013. (http://www.seplancti.am.gov.br/arquivos/download/arqeditor/Perfil%20da%20Regi%C3%A3o%20Metropolitana%20de%20Manaus_30_01_2015.pdf) Acesso em: 19/05/2015.
- Silva, A. B. da. 2011.O Papel das Técnicas no Processo de Periurbanização da Região Metropolitana do Recife – O Caso de Aldeia. *Para Onde!?*, (4):1, 15p. (<http://seer.ufrgs.br/index.php/paraonde/article/view/22108/12869>). Acesso em: 29/04/2015.
- Soares-Filho, B.S.; Pennachin, C.L.; Cerqueira, G. 2002. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3): 217-235.
- Soares-Filho, B. S.; Cerqueira, G.; Araújo, W.; Voll, E. 2007. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. *Megadiversidade* 3:74-86.
- Sousa, I. S. 2013. *A ponte Rio Negro e a Região Metropolitana de Manaus: adequações do espaço urbano-regional à reprodução do capital*. 2013. Tese de Doutorado, Programa

de Pós-Graduação em Geografia Humana/Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo. 249p.

Souza Jr., C.; Brandão Jr., A.; Anderson, A.; Veríssimo, A. 2005. The Expansion of Unofficial Roads in the Brazilian Amazon. *O Estado da Amazônia* (Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia), Belém, Pará, Brasil. 1: 1-2.

Anexos

Anexo A - Ata da Aula de Qualificação



AULA DE QUALIFICAÇÃO

PARECER

Aluno(a): CAMILA JÚLIA PACHECO RAMOS
 Curso: ECOLOGIA
 Nível: Mestrado
 Orientador(a): Dr. Philip Martin Fearnside (INPA)
 Co-orientador(a): Dr. Paulo Maurício Lima Alencastro Graça (INPA)

Título:

"Simulação da dinâmica espacial do desmatamento nos municípios sob influência direta da Ponte do Rio Negro, Amazonas"

BANCA JULGADORA:

TITULARES:

HENRIQUE EDUARDO MENDONÇA NASCIMENTO (INPA)
 RITA DE CÁSSIA GUIMARÃES MESQUITA (INPA)
 FRANCIS WAGNER (UFAM)

SUPLENTES:

JOSÉ LUIS CAMPANA CAMARGO (INPA)
 GIL VIEIRA (INPA)

	<u>PARECER</u>	<u>ASSINATURA</u>
HENRIQUE EDUARDO M. NASCIMENTO (INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
RITA DE CÁSSIA GUIMARÃES MESQUITA (INPA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
FRANCIS WAGNER (UFAM) (JEA)	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado () Reprovado	
JOSÉ LUIS CAMPANA CAMARGO (INPA)	() Aprovado () Reprovado	
GIL VIEIRA (INPA)	() Aprovado () Reprovado	

Manaus(AM), 01 de Abril de 2014

OBS: _____

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA INPA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA PPG-ECO
 Av. Efigênio Sales, 2239 – Bairro: Aleixo – Caixa Postal: 2223 – CEP: 69.060-020, Manaus/AM.
 Fone/Fax: (+55) 92 3643-1909 / 1838

site: <http://pg.inpa.gov.br>

e-mail: pgecologia@gmail.com

Anexo B – Ata da Defesa Pública



Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA.

Aos 14 dias do mês de agosto do ano de 2015, às 9h00min, na Sala de Aula do Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais – PPG-CFT, Campus III, INPA/V8. Reuniu-se a Comissão Examinadora de Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: o(a) Prof(a). Dr(a). **Francis Wagner Silva Correia**, da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, o(a) Prof(a). Dr(a). **Sérgio Henrique Borges**, da Fundação Vitória Amazônica - FVA e o(a) Prof(a). Dr(a). **Neliton Marques da Silva**, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, tendo como suplentes o(a) Prof(a). Dr(a). Florian Karl Wittmann, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, e o(a) Prof(a). Dr(a). Reinaldo Imbrozio Barbosa, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, sob a presidência do(a) primeiro(a), a fim de proceder a arguição pública do trabalho de **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO** de **CAMILA JULIA PACHECO RAMOS**, intitulado: **"SIMULAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL DO DESMATAMENTO NA ÁREA DOS MUNICÍPIOS SOB INFLUÊNCIA DIRETA DA PONTE DO RIO NEGRO, AMAZONAS"** Orientado pelo(a) Prof(a). Dr(a). Philip Martin Fearnside do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, e Co-Orientado pelo(a). Prof(a). Dr (a). Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Após a exposição, o(a) discente foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final:

APROVADO(A)

REPROVADO(A)

POR UNANIMIDADE

POR MAIORIA

Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof(a).Dr(a). Francis Wagner Silva Correia

Prof(a).Dr(a). Sérgio Henrique Borges

Prof(a).Dr(a). Neliton Marques da Silva

Prof(a).Dr(a). Florian Karl Wittmann

Prof(a).Dr(a). Reinaldo Imbrozio Barbosa

Coordenação PPG-ECO/INPA