

## **Capítulo II – Elaboração de cenários futuros do desmatamento no município de Lábrea, Sul do Estado do Amazonas<sup>2</sup>**

### **Resumo**

O “Arco do Desmatamento” da Amazônia Brasileira, em seu avanço contínuo, já alcançou a parte Sul do Amazonas. Nesta região, a pressão que estimula seu crescimento se origina nos estados vizinhos, Acre e Rondônia. Estes estados já conheceram processos de desmatamento intensos relacionados pela expansão da fronteira agropecuária e sua consolidação. Os novos focos de desmatamento já afetaram uma parte das florestas nativas do município de Lábrea, situado próximo às fronteiras dos Estados do Acre e Rondônia. Nos últimos anos, Lábrea foi o município que apresentou taxas recordes de desmatamento no Estado do Amazonas. Além dos danos causados aos ecossistemas naturais, as mudanças de uso da terra têm provocado conflitos sociais graves através do processo de grilagem de terras e da atividade agropecuária, contribuindo para a expulsão de trabalhadores extrativistas da região. Recentemente, o Ministério dos Transportes prevê a reconstrução da BR-319 (rodovia Manaus-Porto Velho) no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e o asfaltamento do trecho Humaitá/Lábrea da BR-230 (rodovia Transamazônica). Esta reconstrução reativará o eixo Porto-Velho/Manaus, o que poderia direcionar a pressão observada no Sul do Amazonas aos municípios situados na área sob influência da BR-319. Assim, foram propostas também pelo governo várias áreas protegidas na Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP) da BR-319, cujas quatro foram recentemente criadas em Lábrea. O objetivo deste estudo foi de simular com o modelo *AGROECO* a dinâmica futura do desmatamento do município de Lábrea até 2040 e, conseqüentemente, avaliar a efetividade das áreas protegidas recém criadas em conter o desmatamento da região. Para modelar o desmatamento dentro das áreas protegidas e nas áreas de entorno delas, foram utilizados pesos de evidência calculados na parte Sudoeste do Arco do Desmatamento (Estado de Rondônia, partes dos Estados do Acre e Sul do Amazonas). Esses pesos são específicos às categorias de uso associadas à esfera administrativa. Dois grupos de cenários foram simulados. Um grupo não considera a criação das áreas protegidas da ALAP, *BAU-Business As Usual*; e outro a considera *GOV-Governança*. Dentro desses dois grupos de cenários, foram considerados quatro casos de simulação, incluindo: 1- pesos de evidência das áreas protegidas homogeneamente distribuídos, 2- pesos de evidência das áreas protegidas gradualmente distribuídos em relação à distância euclidiana interna das áreas protegidas, 3- pesos de evidência das áreas protegidas homogeneamente distribuídos e pesos específicos em relação às áreas de amortecimento, 4- pesos de evidência das áreas protegidas gradualmente distribuídos e pesos específicos em relação às áreas de amortecimento. A criação de áreas protegidas foi pouco eficiente sendo que a maioria dos cenários do grupo II apresentou em 2040, áreas de desmatamento acumulado levemente inferiores àquelas obtidas para os cenários I. A utilização de pesos de evidência evoluindo com a distância euclidiana interna da área protegida parece ser mais realista, de tal modo que reduz a influência de ocorrência de desmatamento nas áreas mais distantes da borda das áreas protegidas. Quanto ao efeito provocado pela consideração de pesos de evidência das áreas de entorno em relação às áreas protegidas, foi constatado que as áreas de entorno possuem uma quantidade maior de desmatamento dentro dos seus limites por serem mais atrativas em termos de peso de evidência. No entanto, acredita-se que esteja uma conseqüência dos anos para os quais os dados de uso/cobertura da terra foram disponíveis para calibrar o modelo, quando as áreas fora dos *buffers* das reservas já haviam sofrido muito desmatamento, deixando pouco para desmatar. O cenário mais realista para nosso conjunto de

---

<sup>2</sup> Esse capítulo está escrito sob as normas da revista *Forest Ecology and Management*.

dados, portanto, é considerado ser o que usa pesos de evidência gradativamente distribuídos, mas que não usa pesos de evidência para as áreas de *buffer*. Neste cenário (GOV-2), o desmatamento foi reduzido na área de estudo em 5,1 % (2.596 km<sup>2</sup>) como resultado das recém-criadas reservas, comparado com o cenário correspondente de linha de base (BAU-2).

**Palavras-chave:** Desmatamento, Modelagem ambiental, Cenários, Conservação, Lábrea, Amazônia.

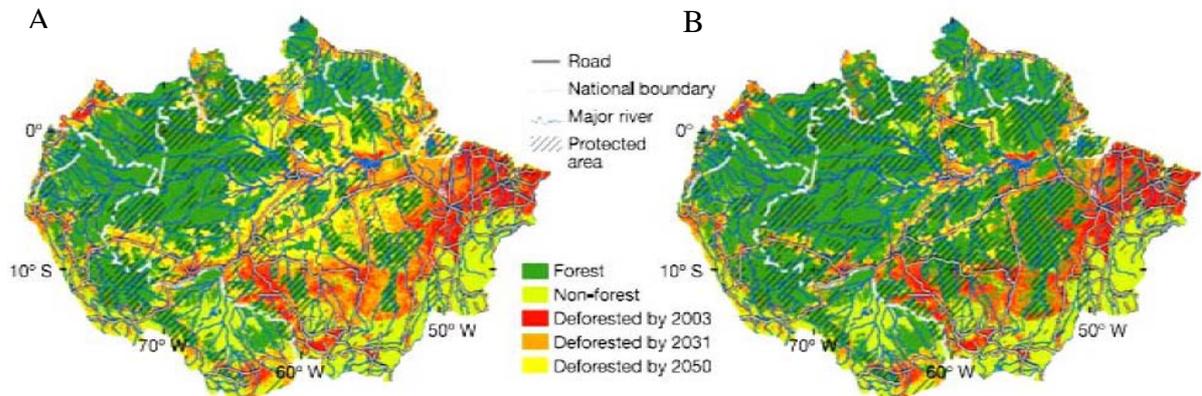
## Introdução

A Amazônia Legal vem sendo desmatada desde os anos setenta, quando políticas de colonização e desenvolvimento de grande escala da Amazônia favoreceram a ocupação sempre crescente de migrantes e os impactos ambientais colaterais decorrentes. As estratégias de desenvolvimento para a Amazônia basearam-se no investimento em infra-estruturas tais como estradas, dando acesso às regiões remotas de florestas, e aos grandes reservatórios hidroelétricos que fornecem energia a outras regiões do país (Carvalho et al., 2002). O governo militar também encorajou, entre 1966 e 1985, o desenvolvimento de atividades econômicas como a agricultura e a pecuária a partir do estabelecimento de projetos de colonização com incentivos fiscais (Skole et al., 2004).

Até 2007, quase 700.000 km<sup>2</sup> da cobertura florestal amazônica tinham sido desmatados (INPE, 2009), o que representa quase 17 % da cobertura florestal original. As atividades ligadas ao avanço do desmatamento são bem conhecidas hoje, entre elas se destacam: a pecuária (Kaimowitz et al., 2004; Barreto et al., 2005; Fearnside, 2005), a agricultura extensiva de soja ou de cana de açúcar (Fearnside, 2000; Alencar et al., 2004), a exploração predatória da madeira, (Nepstad et al., 2001) e a agricultura de pequena escala (Fearnside, 1989; Walker et al., 2000; Brondizio et al., 2002). Os projetos de abertura de estradas e de pavimentação completam este quadro, posto que promovem a viabilidade econômica da agricultura e da exploração madeireira na Amazônia Central, com conseqüente valorização de suas terras.

Contudo, o desmatamento não é distribuído homogeneamente, mas concentrado ao longo do denominado “Arco do Desmatamento” cujos limites se estendem do sudeste do Estado do Maranhão, ao norte do Tocantins, sul do Pará, norte do Mato Grosso, Rondônia, Sul do Amazonas e sudeste do Estado do Acre (Ferreira et al., 2005). Recentemente, o Arco do Desmatamento está avançando na parte sul do Estado do Amazonas. Dentre os municípios do Amazonas afetados pelo processo acelerado de desmatamento, Lábrea destaca-se por apresentar a maior taxa de desmatamento, conforme ao relatório do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Amazônia - PRODES, gerenciado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2006). A principal atividade que tem levado a perda de cobertura florestal é a atividade agropecuária. Também, processos de grilagem de terras públicas e atividade de pecuária têm provocado conflitos sociais, contribuindo para a expulsão de trabalhadores na atividade extrativista da região. Com objetivo de proteger a floresta dos impactos futuros da reconstrução da BR-319 e assegurar a atividade extrativista da região, foram propostas pelo

governo federal, em 2006, quatro áreas protegidas no município de Lábrea. Foram planejadas, as Reservas Extrativistas (RESEX) do Ituxi e do Médio Purus, a Floresta Nacional (FLONA) do Iquiri e o Parque Nacional (PARNA) do Mapinguari, e isto, juntamente com a criação da Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP) da BR-319. Essas quatro áreas protegidas foram decretadas no início de 2008, após dois anos de processo administrativo. Diante deste quadro, este trabalho pretende elaborar cenários futuros do desmatamento da região de Lábrea, relacionados com a criação dessas quatro áreas protegidas. Mas, para isso, é necessário determinar as causas e processos envolvidos no avanço do desmatamento dessa região. De maneira mais geral, entender os processos que dirigem as conversões de uso da terra permite analisar dinâmicas presentes e supor dinâmicas futuras da paisagem. O uso de modelos que incluem uma representação mais próxima possível de padrões reais permite elaborar cenários futuros visando auxiliar a tomada de decisão em relação às possíveis ações do governo relacionadas à infra-estrutura, áreas de proteção ambiental, entre outras. A modelagem da dinâmica do uso da terra permite antecipar a expansão do desmatamento, o que ajuda e apóia a decisão pública. Neste contexto, vários modelos foram desenvolvidos para prever dinâmicas futuras do desmatamento da Amazônia (Andersen et al., 2002; Aguiar, 2006; Soares-Filho et al. 2006; Fearnside et al., 2007). Recentemente, o interflúvio Madeira-Purus foi um dos focos das preocupações ambientais devido aos grandes projetos de infraestrutura previstos nessa região. Um deles é a reconstrução da BR-319 que ligaria a região Sul da Amazônia para a região Norte com o trecho Porto Velho - Manaus, atravessando centenas de igarapés e numerosas bacias hidrográficas. São também previstas as construções do gasoduto Urucu-Porto Velho e duas barragens no Rio Madeira: barragens São Antonio e do Jirau. Assim, o projeto GEOMA (Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia), criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia- MCT, desenvolveu o projeto Madeira-Purus, orientado para estudos de biodiversidade e simulações de desmatamento relacionadas às propostas de criação das áreas protegidas dessa região. Foram desenvolvidos três modelos de desmatamento, um baseado no programa CLUE- *Conversion of Land-Use and its Effects* (Veldkamp e Fresco, 1996) e dois utilizando o programa DINAMICA-EGO (*Environments for Geoprocessing Objects*) (Rodrigues et al., 2007). Com o modelo SimAmazonia baseado no programa DINAMICA, Soares-Filho e colaboradores (2006) apresentaram os resultados obtidos para o cenário chamado de “*Business As Usual*” (BAU) no qual o governo mantém as mesmas políticas para o desmatamento e outro chamado de *Governança* no qual se procura a implementação de políticas públicas de preservação e de controle do desmatamento (Figura 1).



**Figura 1.** Modelo SimAmazonia para a bacia amazônica desenvolvido por Soares-Filho et al. (2006), Cenário BAU *Business As Usual* desmatamento, simulando o desmatamento até 2050 (A). Modelo SimAmazonia para a bacia amazônica desenvolvido por Soares-Filho et al. (2006), Cenário de *Governança* com criação de novas áreas protegidas simulando o desmatamento até 2050 (B).

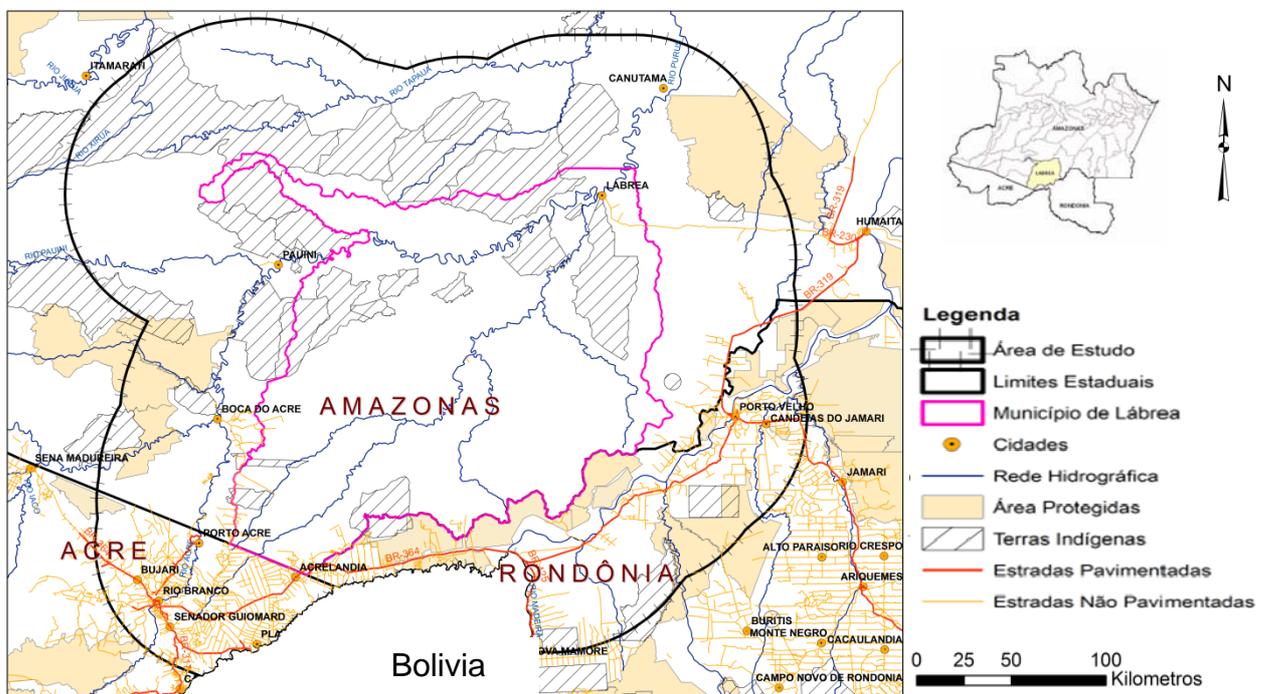
O outro modelo é o AGROECO utilizado neste trabalho, cuja última versão possui ajustes baseados na incorporação cronológica de estradas projetadas por planos governamentais e prevê a atividade de pequenos agricultores. A diferença deste modelo com os outros é que a expansão do desmatamento não está apenas dirigida pela demanda. Neste modelo, o desmatamento é sensível à política de criação de áreas protegidas, ao contrário dos modelos baseados na demanda que perdem os benefícios da criação de áreas protegidas.

Neste trabalho, através do modelo AGROECO (Fearnside et al., 2007), foram feitas projeções espaciais futuras dos remanescentes florestais até 2040 no município de Lábrea e em uma área de influência de 100 km em seu entorno, intersectando-se com alguns municípios do Sul do Estado do Amazonas e municípios dos Estados do Acre e de Rondônia. Os cenários elaborados são relacionados à criação das unidades de conservação propostas para a ALAP da BR-319, em especial, as duas RESEX, a FLONA e o PARNA supracitados. Assim, o trabalho teve com objetivo simular cenários que demonstrem a efetividade dessas reservas propostas em reduzir o avanço de desmatamento nesta região.

## Material e Métodos

### Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Lábrea, situado no Sul do Estado do Amazonas e uma zona de influência (*buffer*) de 100 km ao seu redor. Este *buffer* foi escolhido com o objetivo de integrar a influência da dinâmica de desmatamentos e seus agentes em áreas circunvizinhas ao município de Lábrea nos cenários de desmatamento elaborados. Esta zona compreende partes dos municípios de Tapauá (AM), Boca do Acre (AM), Pauini (AM) e Canutama (AM), e partes dos Estados de Rondônia e Acre. A região de estudo é apresentada na Figura 2.



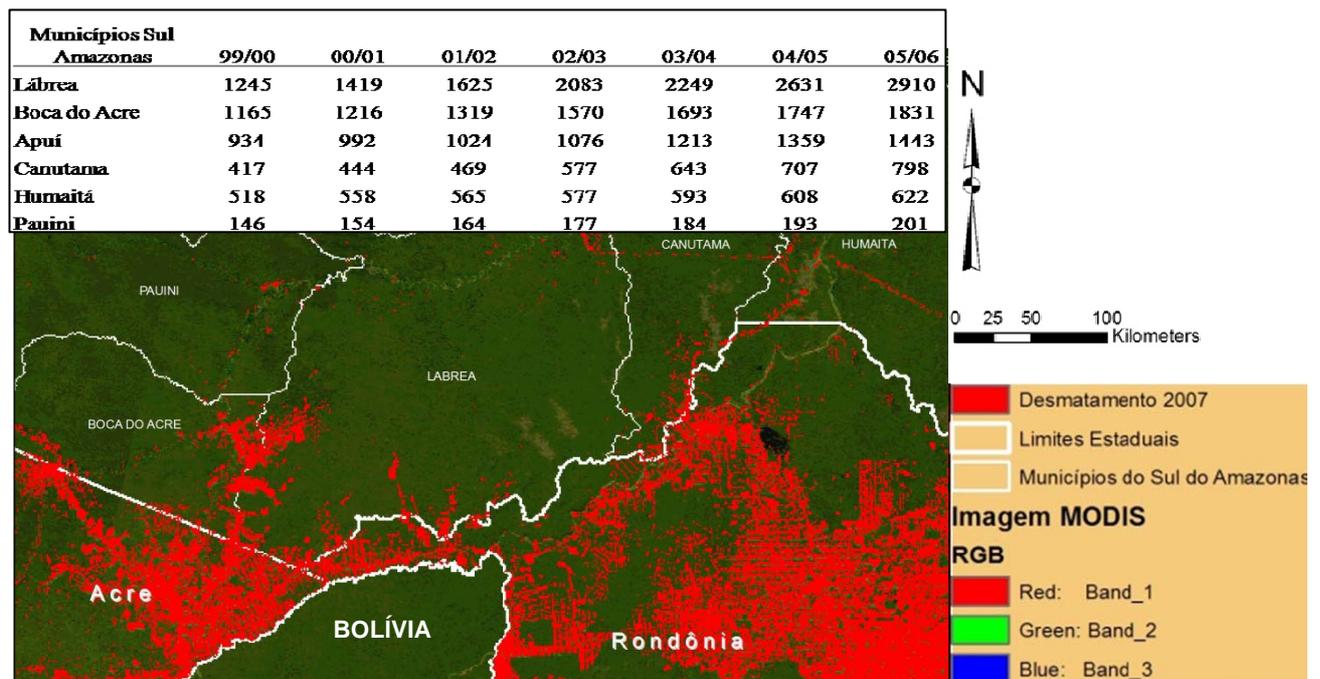
**Figura 2.** Área de estudo: Município de Lábrea no Estado do Amazonas.

A área de estudo delimita uma superfície de 229.559 km<sup>2</sup>. Ao lado das florestas ombrófilas abertas, que são bastante comuns na região, as florestas ombrófilas densas de terras baixas em associação com outras fitounidades, em menor grau, são as mais representativas no município de Lábrea, com 45,6% da vegetação natural existente (Silva e Pereira, 2005). Encontram-se, também, manchas de campinas amazônicas. Os solos da região predominantes são latossolos e argissolos (RADAMBRASIL, 1978). A área apresenta uma altitude abrangendo uma amplitude de 0 a 220 m. O clima da região é tropical quente úmido. Por não ter dados climatológicos disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) do município de Lábrea, usou-se a climatologia de Rio Branco e Porto Velho

para caracterizar o clima de Lábrea. A temperatura média varia entre 23 e 26°C. A taxa de precipitação indica que o período chuvoso ocorre de Dezembro a Fevereiro com taxas de precipitação mensais acima de 300 mm, enquanto o período seco ocorre de Junho a Agosto com taxas de precipitação mensais de chuva da ordem de 50 mm. Dentro do município de Lábrea, se encontra o rio Purus e alguns de seus tributários tais como o Rio Ituxi e os rios Coti e Curequetê.

### *O desmatamento e os padrões de ocupação de Lábrea*

O Sul do Amazonas é uma região que vem sendo alvo de pressões por diversos segmentos, tais como madeireiros, pecuaristas, produtores de soja, dentre outros, que vindos de estados vizinhos estão se apossando de terras ocupadas tradicionalmente por ribeirinhos, devastando áreas de florestas nativas de castanhais, seringueiras, dentre outras, como forma de ocupação das terras (A Crítica, 2004).



**Figura 3.** Desmatamento dos municípios do Sul do Estado do Amazonas até 2007. Áreas de desmatamento acumulado para cada ano entre 1999 e 2007 (em km<sup>2</sup>) apresentadas no quadro.

Para entender melhor os padrões da dinâmica de uso e ocupação da terra em áreas de florestas nativas do município de Lábrea foram feitas duas visitas à área de estudo. A primeira seguiu de Porto Velho até a sede de Lábrea. Foram percorridas as rodovias BR-319 e BR-230 (Transamazônica). Na sede de Lábrea, foram encontradas instituições públicas e associações, como o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), FUNAI (Fundação

Nacional do Índio) e CNS (Conselho Nacional dos Seringueiros) para entender a visão desses órgãos em relação aos atores envolvidos no desmatamento e suas perspectivas do desmatamento no município de Lábrea. A segunda visita foi também feita via terrestre a partir de Manaus, atravessando a BR-319 até Humaitá e Porto Velho. Foi visitado o sul do município de Lábrea (AM), na fronteira do Estado do Acre e Rondônia aonde ocorreram as principais mudanças de uso da terra nos últimos anos, resultantes do aumento de desmatamento do município. Foram analisadas as formas de ocupação dos atores ao redor das estradas percorridas. Quando possível, entrevistamos alguns desses atores. Com entrevistas informais, foi possível entender as principais atividades econômicas da região bem como entender históricos dos agentes envolvidos nessas atividades.

#### *Simulação da dinâmica do desmatamento - Modelagem com AGROECO*

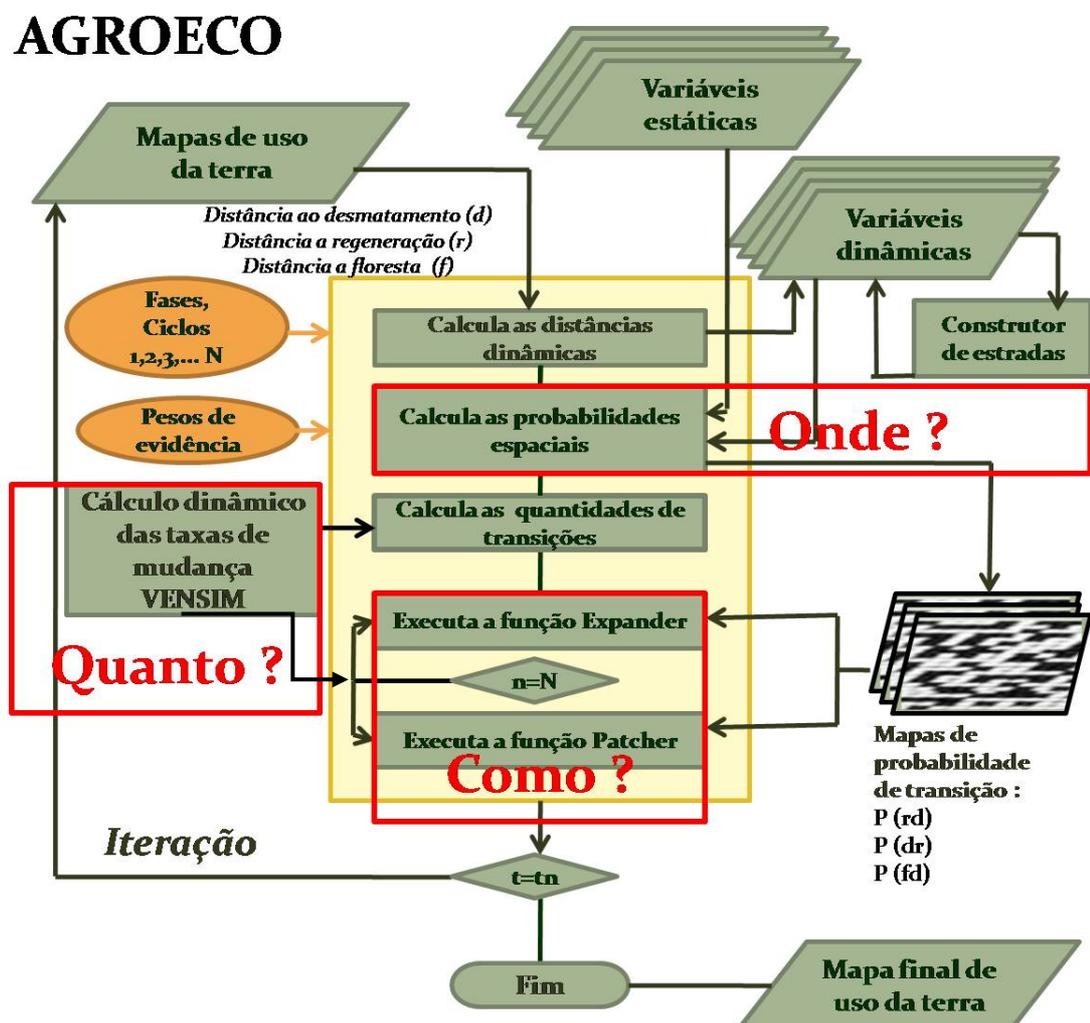
Para simular a dinâmica do desmatamento na área de estudo, foi utilizado o modelo AGROECO, desenvolvido pelo laboratório de AgroEcologia do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) que foi elaborado através da interface do programa computacional de simulação espacial chamado DINAMICA-EGO acoplado ao programa de simulação não espacial, VENSIM. O programa inicialmente nomeado como DINAMICA foi desenvolvido por uma equipe de pesquisadores na Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG (Soares-Filho et al., 2002). O DINAMICA-EGO permite desenvolver modelos de simulação explicitamente espacial da dinâmica da paisagem que se baseia em um algoritmo de autônomo celular. Nos autônomos celulares, o espaço é representado por um mosaico de células, geralmente de tamanhos e formatos idênticos. Sobre cada célula de um autômato celular são aplicadas regras de transição. Regras de transição determinam quando e por que o estado de uma célula se altera, podem ser quantitativas ou qualitativas. O mecanismo de aplicação das regras de transição baseia-se na vizinhança de uma célula (Pedrosa e Câmara, 2001). O estado de cada célula dentro de um arranjo espacial (grade de células) depende do estado prévio das células de vizinhança, de acordo com um conjunto de regras de transição estabelecido. Conforme Soares-Filho et al. (2006), autônomos celulares são capazes de simular os padrões espaciais do desmatamento incorporando um mapa de probabilidade representando a influência integrada de dados cartográficos na alocação do desmatamento. Assim, o DINAMICA-EGO é um ambiente de trabalho que permite a combinação de álgebra de mapas e outros operadores, dispostos em diferentes formatos, para produzir o modelo espacial desejado.

### Descrição do modelo AGROECO

O modelo foi construído de maneira a responder a três questões relacionadas à mudança de uso da terra:

- ONDE- aonde ocorrerão as mudanças de uso da terra
- QUANTO- qual será a quantidade de mudanças que ocorrerão para cada transição
- COMO- qual será a representação espacial das novas áreas de mudança

A Figura 4, abaixo, apresenta um fluxograma que esquematiza os procedimentos utilizados na simulação do AGROECO.

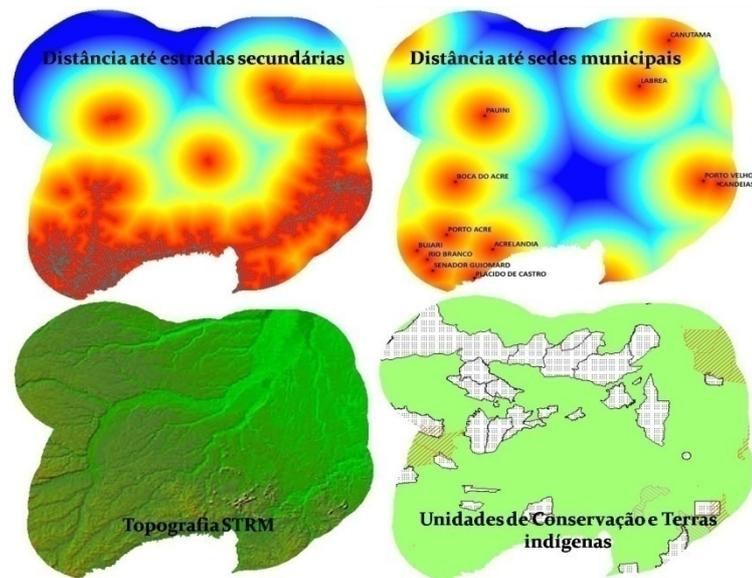


**Figura 4.** Fluxograma esquematizando os processos utilizados nas simulações do AGROECO.

### Dados de entrada

Como entrada no modelo o AGROECO utiliza uma mapa temático representando o estado inicial do uso/cobertura da terra, derivado de imagens de satélite. Adicionalmente, o

modelo utiliza variáveis que se dividem em dois subconjuntos, de acordo com a sua natureza dinâmica (variáveis dinâmicas) e estática (variáveis estáticas), exemplos dessas variáveis estão apresentados na Figura 5. São consideradas variáveis espaciais dinâmicas no modelo mapas tais como, distância a cada tipo de classe de cobertura da terra (desflorestamento, regeneração e floresta). Neste modelo, o mapa de estradas é considerado uma variável dinâmica, apesar de entrar inicialmente no subconjunto de variáveis estáticas, pois a malha viária é expandida a cada iteração a partir de um algoritmo de construção de estradas.



**Figura 5.** Exemplos de variáveis de entrada utilizadas no modelo AGROECO.

As variáveis consideradas foram:

- Distância até estradas pavimentadas (Centro Sensoriamento Remoto (CSR) UFMG)
- Distância até estradas não-pavimentadas (CSR- UFMG)
- Distância de floresta às áreas já desmatadas (INPE)
- Tipo de solo (RADAMBRASIL), considerando as seguintes classes: Latossolo Amarelo; Gleissolo; Luvisolo; Plintossolo; Neossolo; Argissolo; Podzol Hidromórfico; Cambissolo; Alissolo.
- Tipo de Vegetação (IGBE), considerando as seguintes classes: Savana arborizada ou parque; Sucessão primária (pioneira), influência fluvial, herbácea, aluvial; Sucessão primária (pioneira), influência fluvial, arbustiva, aluvial; Floresta ombrófila densa de terras baixas ou submontanas; Floresta

ombrófila densa aluvial; Floresta ombrófila aberta dominada por palmeiras de grande porte de terras baixas ou submontanas; Floresta ombrófila aberta dominada por cipós de terras baixas ou submontanhas

- Declividade, STRM
- Distância aos assentamentos do INCRA (INCRA)
- Unidades de Conservação já existentes e Terras Indígenas (IBAMA e ISA)
- Distância até os rios principais (Agência Nacional da Água-ANA)

### Mecanismo da simulação

A primeira etapa consiste na calibração que reúne a fase de extração dos pesos de evidência e o cálculo da matriz de transição entre as classes de cobertura da terra consideradas. Durante esta etapa, se obtêm as taxas de transição anuais, nas quais são derivadas as taxas líquidas de desflorestamento, taxas de *clearing* cuja regeneração das áreas desmatadas é cortada para ser reutilizada e a classe de recuperação ou regeneração. Essas são as taxas que transicionam as classes do mapa de uso/cobertura da terra, por exemplo, modificam a classe de floresta e/ou recuperação à classe de desmatamento. A matriz de transição foi obtida a partir de uma comparação entre mapas de duas datas distintas, em uma região que tem sofrido os mesmos processos de desmatamento esperados na região de estudo. Neste estudo, a área de calibração foi selecionada de uma região próxima à usina hidrelétrica de Samuel, localizada cerca de 25 km de Porto Velho (RO) (Figura 6). A matriz de transição anual obtida para a região de Samuel entre os anos 2004 e 2007 foi aplicada na área de estudo, região de Lábrea. Mesmo se mapas de três anos são comparados, o modelo deduz taxas de transição anuais. Na mesma região de calibração foram calculados os pesos de evidência.

Os pesos de evidência representam a influência de cada variável nas probabilidades espaciais de uma transição de um estado  $i$  para  $j$ , sendo calculado pelas equações 1 até 9.

$$P(D|A) = \frac{P(D \cap A)}{P(A)} \quad (1)$$

$$P(A|D) = \frac{P(A \cap D)}{P(D)} \quad (2)$$

$$P(A \cap D) = P(A|D) \times P(D) \quad (3)$$

Por substituição da equação 5 na equação 1, obtém-se:

$$P(D|A) = P(D) \times \frac{P(A|D)}{P(A)} \quad (4)$$

Da mesma maneira, considerando o não-evento  $D$ ,  $\bar{D}$ , obtém-se:

$$P(\bar{D}|A) = P(\bar{D}) \times \frac{P(A|\bar{D})}{P(A)} \quad (5)$$

Aplicando-se uma razão entre as equações 6 e 7, obtém-se:

$$O(D|A) = O(D) \times \frac{P(A|D)}{P(A|\bar{D})} \quad (6)$$

$$\log O(D|A) = \log O(D) + \log \frac{P(A|D)}{P(A|\bar{D})} \quad (7)$$

$$\log O(D|A) = \log O(D) + W^+ \quad (8)$$

$$\log O(D|A_i) = \log O(D) + \sum_{i=1}^n W_i^+ \quad (9)$$

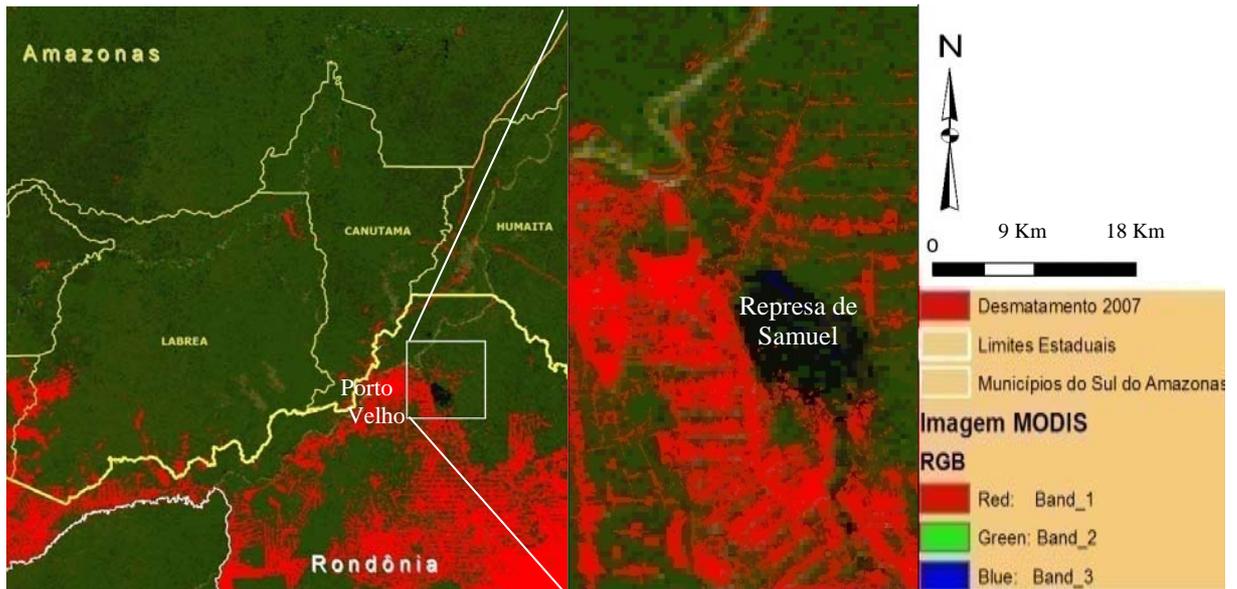
Onde  $O(D)$  e  $O(D|A)$  são as razões de chances, respectivamente, de ocorrer *a priori* o evento  $D$  e ocorrer  $D$  dado um padrão espacial  $A$ .  $W^+$  é, portanto, o peso de evidência de ocorrer um evento  $D$ , dado um padrão espacial  $A$ . Quando considerados vários padrões espaciais  $A_i$ , os pesos de evidência relacionados a esses padrões são somados, conforme a equação 11.

A probabilidade espacial *a posteriori* de uma transição  $i \Rightarrow j$ , dado um conjunto de dados espaciais  $(B, C, D, \dots, N)$ , é expresso na equação 10 seguinte:

$$P(i \rightarrow j | B \cap C \cap D \dots \cap N) = \frac{e^{\sum W_i^+}}{1 + e^{\sum W_i^+}} \quad (10)$$

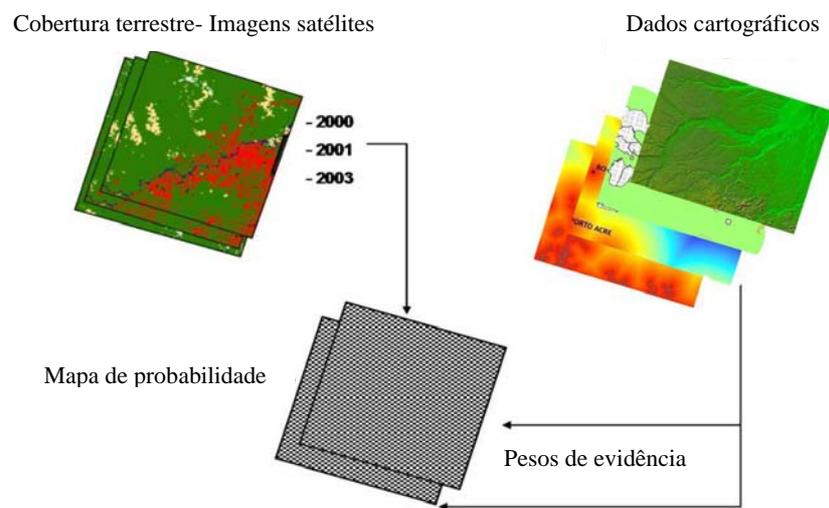
Onde,  $B, C, D, \dots, N$  são valores de variáveis espaciais  $k$  medidas na posição  $(x,y)$  e representada por seus pesos  $W_N^+$ .

O efeito de cada variável pode ser calculado independentemente de uma solução combinada. A única suposição deste método é que os mapas de entrada do modelo sejam independentes espacialmente. Isso pode ser avaliado usando a Informação de Incerteza Conjunta (IIC), a qual é um coeficiente (*Cramer*) que varia de 0 (indicando nenhuma correlação) a 1 (indicando uma correlação perfeita). A partir desta avaliação, variáveis correlacionadas são eliminadas do modelo integrado. Esses pesos representam uma série de dados expressos como tabelas extraídas com base na superposição de mapas de informações ambientais da área. Considerou-se que a obtenção de coeficientes superiores a 0,5 indicam que variáveis são dependentes espacialmente (Comunicação pessoal de Soares-Filho, 2008).



**Figura 6.** Área de calibração escolhida perto de Porto Velho, na área de Samuel.

Os mapas de entrada (variáveis de entrada) são processados pixel a pixel utilizando estatística multivariada que permite obter as evidências dessas variáveis ambientais na probabilidade de transição de um estado  $i$  para  $j$ . Neste modelo, os mapas de variáveis ambientais participam ao final de cada ciclo para o cálculo de mapa de probabilidade. Neste mapa, cada célula possui uma probabilidade de ser desmatada, cortada ou regenerada, isso é o resultado de uma combinação multivariada dos pesos de evidência de cada variável (Soares-Filho, 2003) (Figura 7).



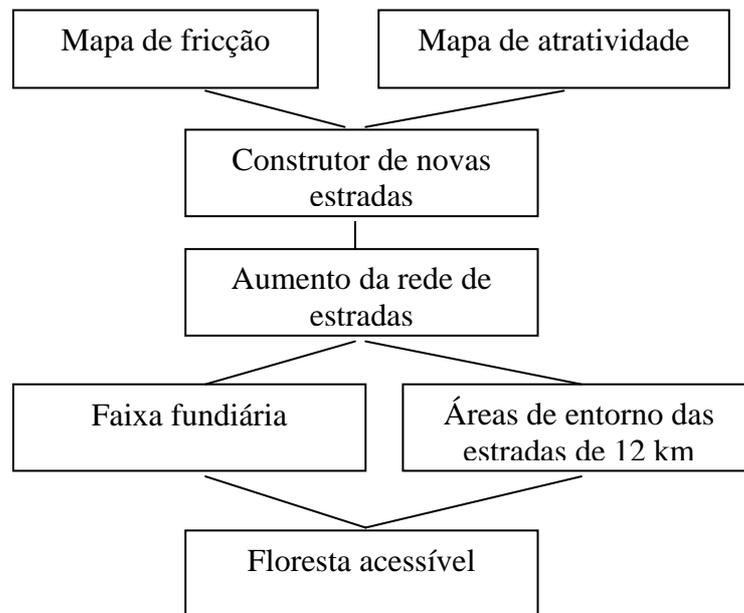
**Figura 7.** Tabulação cruzada de mapas multitemporais para produzir mapas de probabilidade de transição.

O modelo computacional possui uma rotina de construção de estradas, as quais são incorporadas aos mapas de entrada, os quais serão processados para o cálculo do novo mapa de probabilidade. A cada ciclo, os mapas de distância às estradas são recalculados. Existe dentro do AGROECO um módulo chamado construtor de estradas que gera novos traçados de estradas. Essas estradas são construídas a partir de mapas de fricção ou custo, cujos cálculos se baseiam na distribuição espacial de áreas atrativas, áreas protegidas e outros obstáculos. Para seu funcionamento, o construtor de estradas considera as áreas para agricultura muito atrativas e pouco as áreas protegidas. Para definir o caminho que será construído, utiliza-se o conceito de custo para a construção, com base na declividade do terreno e no tipo de proteção da área. A atividade do construtor apresenta três fases: uma muito ativa, de penetração, que consiste na construção de estradas largas na floresta, uma fase de consolidação aonde são construídas estradas mais curtas (ramais ou vicinais) em áreas atrativas e uma fase de construção de estradas projetadas pelo governo federal. Na medida em que o construtor de estradas cria novas estradas, as áreas de floresta disponível para o desmatamento aumentam. Conjuntamente, outra rotina gera superfícies de áreas fundiárias abrangendo uma distância de dois quilômetros a cada lado das estradas, essas áreas representam faixas de ocupação por pequenos agricultores que desmatam pequenas áreas para agricultura de subsistência.

#### Acoplamento com o modelo não espacial VENSIM

Uma parte muito importante é o intercâmbio de variáveis entre o modelo espacial do DINAMICA-EGO e o modelo não espacial VENSIM. Com este, são moduladas as taxas de transição que representam as mudanças que ocorreram durante uma iteração da simulação (desmatamento, regeneração ou *clearing*). A modulação se refere às mudanças nas transições por efeito da economia, o modelo pode utilizar uma curva histórica de demanda de terras para soja ou para pecuária e projetá-la no futuro, modulando assim, a taxa de desmatamento em cada ano. Entretanto, as simulações apresentadas nesse trabalho foram restritas à modulação realizada pelo modelo espacial. Esta condição permitiu somente a modulação das taxas de desmatamento por efeito da evolução espacial das variáveis no DINAMICA-EGO. Algumas delas são: a evolução da distribuição espacial da rede de estradas, a superfície de estradas de consolidação, as mudanças na superfície de atratividade fundiária, proximidade das áreas protegidas e floresta disponível entre outras. Estas variáveis modulam, internamente, as taxas de desmatamento, *clearing* e regeneração a cada iteração. Este trabalho teve por objetivo comparar a influência de criação das áreas protegidas supracitadas na taxa de desmatamento, de *clearing* e de regeneração observadas a cada iteração no mapa de saída. Portanto, a cada

iteração, o modelo cria uma superfície de floresta disponível para aplicar taxas líquidas. As taxas passadas pelo VENSIM são aplicadas à floresta disponível. A floresta disponível depende da rede de estradas que foi construída a cada iteração, essa rede é criada pelo construtor de estrada que, por sua vez, depende dos mapas de fricção e atratividade (Figura 8).



**Figura 8.** Fluxograma apresentando as variáveis que influenciam o cálculo da área de floresta disponível a cada iteração à qual são aplicadas as taxas de transição de mudanças.

Por exemplo, o aumento da extensão de áreas protegidas influencia os mapas de fricção e atratividade, que conseqüentemente influenciará a rede de estradas construídas e a superfície de área de floresta disponível decorrente. Assim, as taxas de mudança variam com o tempo em função da disponibilidade de áreas de floresta para desmatar. Mesmo se a taxa de entrada esteja constante, as taxas brutas de mudanças observadas a cada ano variam. Após do cálculo da quantidade de mudanças, duas funções de distribuição de mudanças, expansiva (*Expander*) e de semeadura (*Patcher*) geram novos mapas de desmatamento. Na função *expander*, uma nova probabilidade de transição espacial  $P_{ij}$  depende da quantidade de células no estado  $j$  ao redor de uma célula de tipo  $i$ . A função *Patcher*, cria novas manchas através de um mecanismo de semeadura. Esta última elege primeiramente uma célula central de uma nova mancha e de acordo com sua probabilidade de transição  $P_{ij}$ , seleciona um número específico de células ao redor da célula central. Ambos os processos tem como parâmetros de entrada a isometria, a variância e o tamanho médio das manchas. A isometria varia de 0 a 2, com 2 o tamanho maior de mancha. O tamanho de novas manchas e a expansão de bordas são

configurados de acordo com a distribuição de probabilidade lognormal. A combinação da função de transição do DINAMICA-EGO apresenta numerosas possibilidades a respeito da geração e envolvimento de mudanças nos padrões espaciais. Essas rotinas aumentam a superfície desmatada e produzem novos pontos de desmatamento, mas também produzem recuperação de células desmatadas e desmatamento de floresta secundária.

As simulações utilizam o modelo AGROECO executando cenários BAU “*Business As Usual*” considerando apenas as áreas protegidas existentes até 2007 e cenários de *Governança* considerando as áreas protegidas existentes até 2007, a recente criação das áreas protegidas decretadas em 2008, além de outras áreas protegidas propostas conjuntamente à ALAP (BR-319). A demanda de desmatamento se manterá constante durante a simulação sem considerar uma política virtual que possa mudá-la durante as simulações.

#### *Elaboração de cenários*

Foram elaborados dois grupos de cenários, um grupo *Business As Usual* (Mesmo de sempre) e um grupo de *Governança* ou Conservação para comparar as possíveis trajetórias do desmatamento em Lábrea entre os anos 2008 e 2040. Cada grupo de cenários contém quatro cenários. Em todos os cenários foram utilizadas taxas líquidas anuais de desmatamento constantes como entrada para alimentar o modelo, porém, a demanda para o desmatamento é modulada pela disponibilidade de floresta acessível. Dessa maneira, também, os resultados obtidos após a utilização de ferramentas espaciais elaboradas para simular o desmatamento dentro das áreas protegidas podem ser avaliados e comparados. Essas ferramentas são pesos de evidência, mapas de fricção e de atratividade utilizados no modelo entre outros.

O primeiro grupo (BAU) de cenários considera as áreas protegidas existentes até 2007, mas não considera as áreas protegidas recém criadas e propostas associadas à ALAP (ver Introdução). Esse grupo representa os cenários de linha base ou *baseline* quando comparados com o segundo grupo (GOV) de cenários que inclui as áreas protegidas da ALAP. Dentro do grupo BAU, o primeiro cenário foi denominado “*Business As Usual sem a criação das novas áreas protegidas (BAU-1)*”. Neste cenário, foram utilizados Pesos de evidência Homogeneamente Distribuídos (PHD) das áreas protegidas para categorias de uso relacionadas à esfera administrativa. Considerando um nível de proteção diferente para cada categoria relacionada à esfera administrativa, foi desenvolvido um novo modelo de fricção que considera fricções diferentes para essas categorias, cujos resultados são utilizados pelo algoritmo do construtor de estradas. Também, um novo modelo de proteção foi desenvolvido. Este último modelo gera o mapa inicial de áreas protegidas, considerando neste trabalho, as

classes de uso relacionadas à esfera administrativa. Esse mapa entra no cubo de variáveis estáticas (*stacklayer*) ao qual são aplicados pesos de evidência específicos às categorias das UCs associadas à esfera administrativa. Esse primeiro cenário BAU-1 é o cenário de linha base ou *baseline*, que servirá de testemunho quando forem comparados os cenários do grupo BAU. Foram considerados dentro do cenário “*Business As Usual sem a criação das novas áreas protegidas (BAU-2)*”, com Pesos de evidência Gradualmente Distribuídos (PGD), diferenciando a probabilidade de alocação do desmatamento dentro das áreas protegidas em relação à distância euclidiana interna. Um cenário “*Business As Usual sem a criação das novas áreas protegidas (BAU-3)*” considerou áreas de amortecimento ao redor das UCs (áreas de entorno de 10 km) tendo fricções maiores para o construtor de estradas (aumentando o custo da construção das estradas) e considerando pesos de evidência específicos às áreas de amortecimento de cada categoria de unidades de conservação associada à esfera administrativa, calculados em regiões adjacentes à área de estudo (ver Capítulo I). Considerando essa variável a mais, espera-se que o desmatamento exercido ao redor das áreas protegidas, (áreas de entorno) seja mais bem representado em relação ao que aconteceu em regiões vizinhas (ver Capítulo I). Assim, nos mapas estáticos de entrada das áreas protegidas foram também consideradas as áreas de amortecimento de 10 km ao redor das áreas protegidas. O terceiro cenário do grupo BAU considera Pesos de evidência Homogeneamente Distribuídos (PHD) para as áreas protegidas e para as áreas de amortecimento. O último cenário “*Business As Usual sem a criação das novas áreas protegidas (BAU-4)*” considera também as áreas de amortecimento (PHD) e pesos de evidência gradualmente distribuídos dentro das áreas protegidas.

O segundo grupo de cenários de *Governança* considera, além das áreas protegidas existentes, também, aquelas recém criadas (tais como PARNA do Mapinguari, RESEX do Ituxi, RESEX do Médio Purus, FLONA do Iquiri e as outras propostas conjuntamente à ALAP). Tal como o grupo precedente, o primeiro cenário (*GOV-1*) considera pesos de evidência homogeneamente distribuídos. O segundo (*GOV-2*) considera pesos de evidência gradualmente distribuídos, os dois últimos consideram também áreas de amortecimento das áreas protegidas sendo que um deles utiliza pesos de evidência homogeneamente distribuídos para as áreas protegidas (*GOV-3*) e outro considera pesos de evidência das áreas protegidas gradualmente distribuídos (*GOV-4*) (Tabela 1).