

Belo Horizonte | Agosto de 2026



VISÃO GERAL **OTIMIZAGRO**

*Modelagem do uso e das mudanças de uso
da terra no território brasileiro*

Projeto

Mapeamento de Culturas Agrícolas e Sistemas
Produtivos da Sociobiodiversidade no Brasil

Coordenação

Sónia Carvalho Ribeiro

Equipe técnica

Britaldo Soares Filho

Ubirajara de Oliveira

William Costa

Organização e sistematização

Amanda Oliveira

Bárbara Nascimento

Pedro Volpe



CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO

CSR

UF **m** **G**

UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS



Conab

O Otimizagro é um modelo nacional, espacialmente explícito e integrado de modelagem do uso e das mudanças de uso da terra no território brasileiro. O modelo foi concebido para representar, de forma espacialmente detalhada, a dinâmica de ocupação do território, considerando a expansão e a retração de atividades agrícolas e da silvicultura. Sua estrutura permite a integração entre informações históricas, projeções de demanda por terras, aptidão agroclimática, disponibilidade espacial de áreas e restrições territoriais, possibilitando a construção de cenários de uso da terra para diferentes trajetórias de desenvolvimento agrícola e políticas de ocupação territorial (Figura 1).

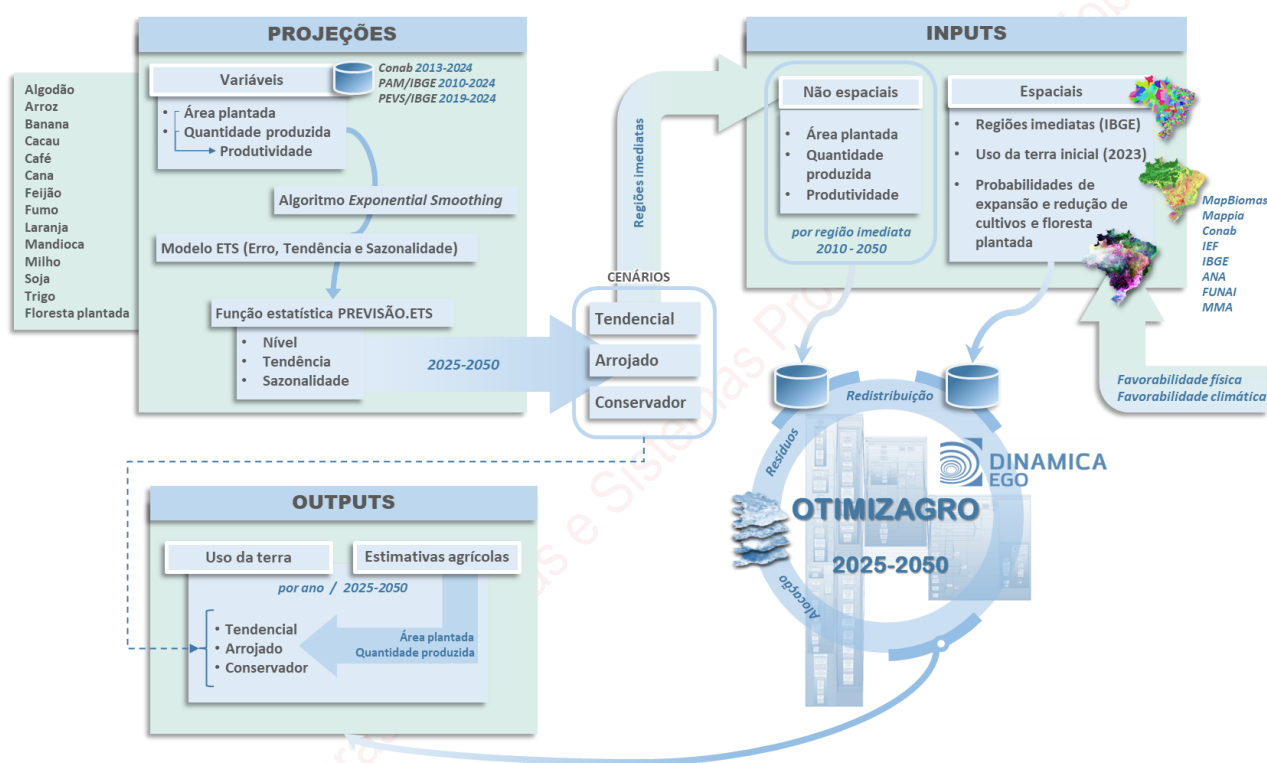


Figura 1 – Panorama geral do modelo Otimizagro.

A estrutura espacial do Otimizagro organiza-se hierarquicamente a partir das regiões geográficas imediatas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para cada região, o modelo realiza a alocação espacial de diferentes classes de uso da terra, incluindo culturas agrícolas, pastagens e florestas plantadas. Entre as culturas representadas estão algodão, arroz, banana, cacau, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, mandioca, milho, soja e trigo. O modelo também contempla diferentes combinações de cultivos realizadas em uma mesma área ao longo de um ano agrícola. Essas classes representam sucessões ou combinações de culturas, e não necessariamente uma cultura isolada, denominada de dupla safra.

O ponto de partida da modelagem é um mapa de uso e cobertura da terra referente ao ano-base de 2023 (Figura 2), elaborado a partir da integração de diferentes fontes públicas de informação, incluindo dados do MapBiomas, Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) e mapeamentos regionais específicos, como os de floresta plantada do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF) e de café do Mappia. Para culturas que não possuem mapeamento espacial direto, a distribuição das áreas é estimada a partir da combinação de informações de produção agrícola, rentabilidade e favorabilidade agroclimática. O modelo integra ainda informações referentes a áreas urbanizadas, corpos d'água e áreas protegidas, provenientes de bases do IBGE, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI) e Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), entre outras fontes.

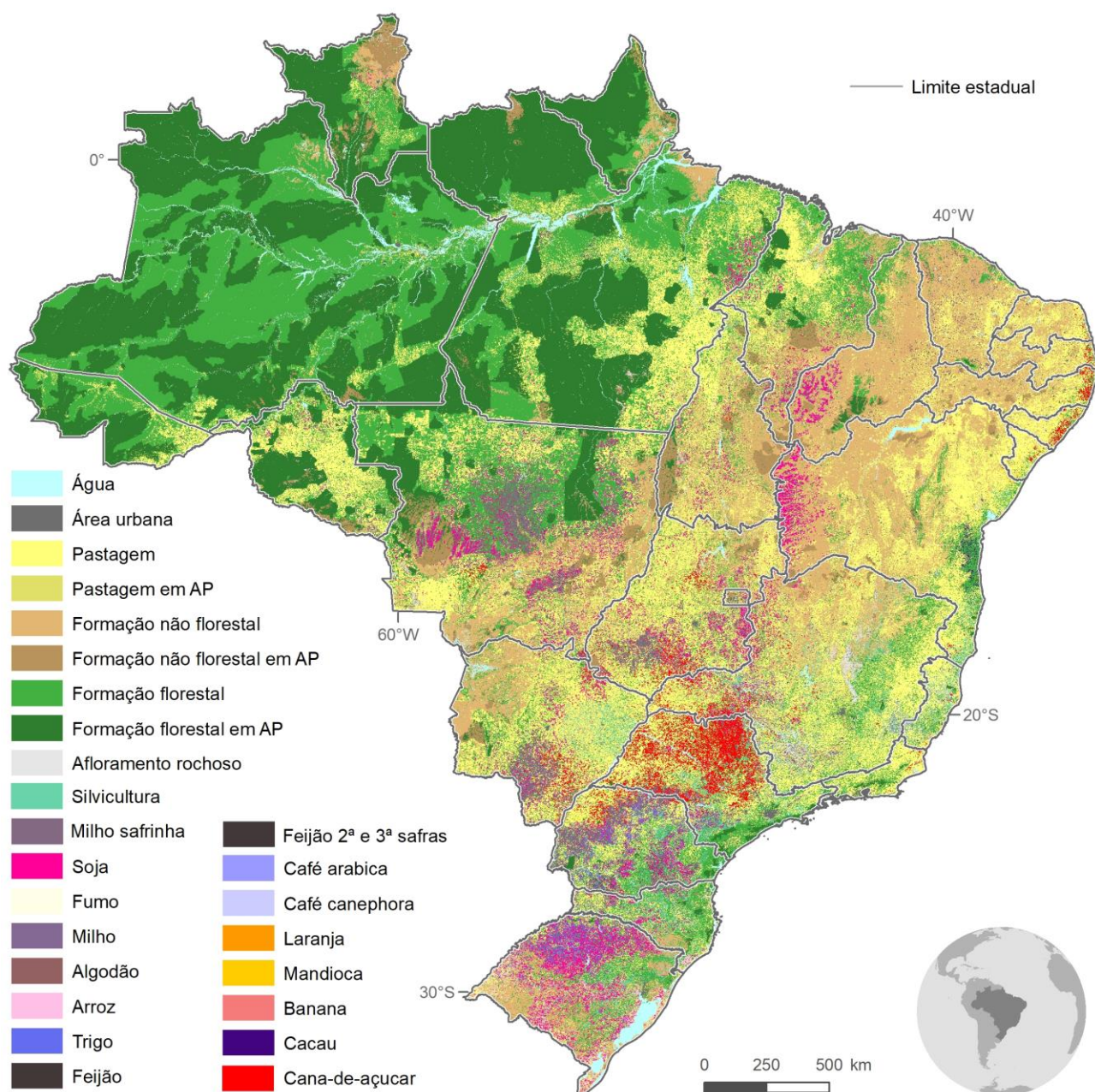


Figura 2 – Uso da terra inicial (2023).

A componente de projeção do Otimizagro utiliza séries históricas de área e quantidade produzida para estimar a evolução futura das principais atividades agrícolas. A base histórica compreende 15 anos de observações, de 2010 a 2024, enquanto as projeções abrangem o período de 2025 a 2050, com periodicidade anual, totalizando 26 anos projetados. Para os cultivos agrícolas, as informações históricas são provenientes principalmente da Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE), complementadas por dados da Conab. Para a floresta plantada, são utilizados dados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS/IBGE). As informações são organizadas inicialmente em escala municipal e posteriormente agregadas para regiões geográficas imediatas,

unidades da Federação e Brasil. A área representa a extensão destinada ao cultivo ou plantio e, portanto, não corresponde necessariamente à área efetivamente colhida.

As projeções são realizadas separadamente para área cultivada, expressa em hectares, e quantidade produzida, expressa em toneladas. A produtividade não constitui uma variável projetada diretamente; ela é obtida de forma implícita pela razão entre quantidade produzida e área. A trajetória central das projeções é estimada pela função PREVISÃO.ETS, baseada em métodos de suavização exponencial aplicados às séries históricas de cada produto e variável. O cenário tendencial representa, portanto, a continuidade estimada dos padrões históricos, considerando a persistência das tendências observadas e a ausência de mudanças estruturais relevantes. As observações mais recentes exercem maior influência na determinação da trajetória projetada, conforme a lógica do método de suavização empregado.

A partir do cenário tendencial são construídos dois cenários alternativos: conservador e arrojado. Em 2025, os três cenários coincidem. A partir de 2026, o cenário conservador incorpora uma redução progressiva de 0,6 ponto percentual ao ano em relação ao tendencial, atingindo 15% abaixo desse valor em 2050, enquanto o cenário arrojado incorpora um acréscimo progressivo de mesma magnitude, alcançando 15% acima do tendencial no final do período. Dessa forma, em 2050, o cenário conservador corresponde a 85% do valor tendencial e o cenário arrojado a 115%. Esses cenários constituem trajetórias de referência para a análise de diferentes ritmos de expansão agrícola, não devendo ser interpretados como previsões determinísticas ou valores exatos do futuro.

Os valores projetados são submetidos a um processo de reconciliação territorial, no qual o total nacional é mantido como referência e distribuído entre as regiões geográficas imediatas. Os valores estaduais correspondem à soma das regiões que compõem cada unidade da Federação. Posteriormente, a demanda territorial é espacializada pelo Otimizagro por meio de simulação espacialmente explícita na plataforma Dinamica EGO. Essa etapa considera as tendências de expansão e retração de cada atividade, a disponibilidade de terras convertidas e a aptidão das áreas para os diferentes cultivos. Quando a disponibilidade de terras em determinada região não é suficiente para atender à demanda de alocação prevista, o modelo redistribui as áreas

remanescentes (resíduos¹) para regiões vizinhas, produzindo um mecanismo de transbordamento espacial das demandas não alocadas.

A aptidão agroclimática constitui um dos principais componentes da alocação espacial das culturas. Ela é representada por duas dimensões complementares: favorabilidade climática e favorabilidade física. Ambas são calculadas individualmente para cada cultivo com base na similaridade ambiental entre áreas onde a cultura ocorre e as demais áreas do território, utilizando a distância de *Mahalanobis*. Essa abordagem não considera automaticamente a ausência de uma cultura como evidência de inaptidão, permitindo identificar áreas ambientalmente semelhantes às aquelas onde o cultivo já ocorre. Os resultados são expressos em índices de similaridade ambiental variando de 0 a 1, sendo que valores próximos de 1 indicam maior similaridade entre as condições ambientais da área avaliada e as áreas de ocorrência do cultivo.

Embora as condições climáticas sejam relevantes para a caracterização da aptidão agroclimática e para a alocação espacial das culturas, o clima não constitui uma variável explicativa direta do modelo estatístico empregado nas projeções de área e produção. As trajetórias projetadas pelo PREVISÃO.ETS são determinadas pelas próprias séries históricas de área e quantidade produzida. As informações climáticas são incorporadas em etapas específicas da modelagem espacial, incluindo a avaliação de aptidão agroclimática, a alocação territorial das culturas e o cálculo de indicadores associados a eventos climáticos extremos.

A espacialização das taxas de expansão agrícola é realizada internamente pelo Otimizagro, considerando simultaneamente as tendências históricas de expansão ou retração, a demanda projetada e a disponibilidade de terras convertidas e aptas a cada cultivo. A alocação ocorre em resolução espacial de 6,25 hectares, permitindo representar a heterogeneidade espacial do território e as diferenças de aptidão e disponibilidade de terras entre as regiões. Esse procedimento possibilita transformar as projeções agregadas de área e produção em padrões espaciais de ocupação, articulando as escalas nacional, estadual, regional e local.

As estimativas do modelo abrangem os principais produtos agrícolas considerados nas bases de projeção, incluindo algodão herbáceo, arroz, banana, cacau, café arábica, café

¹ Resíduo é a parte da mudança solicitada que não conseguiu ser colocada no mapa. Não representa produção perdida nem área abandonada; representa déficit de alocação espacial. O déficit pode ser encaminhado para regiões vizinhas, desde que existam células elegíveis. O que continuar não atendido, volta ao cálculo do ano seguinte.

canephora, cana-de-açúcar, feijão, floresta plantada, fumo, laranja, mandioca, milho, soja e trigo, com tratamentos específicos para diferentes safras de milho e feijão. A seleção e organização dessas classes permitem representar tanto cultivos individuais quanto combinações e sucessões agrícolas observadas ao longo do ano agrícola, proporcionando maior aderência à dinâmica efetiva de ocupação das áreas agrícolas brasileiras.

Os resultados produzidos pelo Otimizagro devem ser interpretados como trajetórias de referência para análise e planejamento, e não como previsões exatas. As projeções estatísticas e a alocação espacial representam a continuidade de padrões observados sob as premissas estabelecidas para cada cenário, não incorporando explicitamente, em sua totalidade, eventos inesperados como choques de mercado, crises econômicas, mudanças tecnológicas disruptivas, alterações regulatórias, transformações nas políticas públicas ou eventos climáticos extremos. Dessa forma, a interpretação dos resultados deve considerar as hipóteses, limitações e escalas de cada componente do modelo.

A integração entre projeções de demanda, reconciliação territorial, aptidão agroclimática, disponibilidade de terras e simulação espacial constitui, portanto, o principal diferencial metodológico do Otimizagro. Essa abordagem permite representar não apenas quanto de determinada atividade agrícola poderá ser alocado, mas também onde essa expansão ou retração tende a ocorrer, considerando as características ambientais e territoriais do espaço brasileiro.

A implementação foi desenvolvida na plataforma Dinamica EGO (Soares-Filho *et al.*, 2009) e utiliza uma estrutura hierárquica de submodelos. Visualmente, o modelo principal é dividido em "módulos" de configuração, leitura de dados, pré-processamento, simulação anual e gravação de resultados (Figura 3, Tabela 1).



Figura 3 – Visão geral do modelo principal no *software* Dinamica EGO (versão 8.12.0).

Na Tabela 1, apresenta-se uma síntese da organização do modelo Otimizagro, incluindo a estrutura e as principais funções de cada um de seus módulos.

Tabela 1 – Principais módulos do modelo Otimizagro.

Módulo	Função no modelo
1) Control Panel / Parameters	Define regras, parâmetros, período e opções de execução
2) Scenario Tables	Define as demandas, áreas esperadas e taxas de mudança ao longo do tempo

3) Input maps	Fornece a representação espacial inicial e os mapas de probabilidade/regionalização
4) Propedeutic	Prepara, organiza e processa os dados para a simulação
5) Simulation model	Realiza iterativamente as mudanças de uso da terra ano a ano
6) Outputs	Consolida e salva mapas, tabelas, áreas, estatísticas e resíduos

1) O "*Control Panel / Parameters*" é o módulo de configuração e parametrização geral do modelo. Ele concentra as variáveis que definem como a simulação será executada, quais processos serão considerados e quais regras serão aplicadas. Dentro dele estão agrupados parâmetros relacionados a: cultivos, com parâmetros de culturas, área de dupla safra e tratamento de resíduos; dupla safra (double cropping), incluindo os parâmetros e as culturas-base utilizadas; mapas de probabilidade; cenários, onde são definidos o ano inicial e final, o intervalo temporal, o número mínimo de resíduos, a realização de ano adicional e as opções de conversão de pastagem associada à expansão agrícola; módulos a serem executados, permitindo ativar ou desativar processos como conversão de pastagem e regeneração (os quais estão desativados para os cenários aqui propostos). Assim, esse bloco não realiza propriamente a simulação espacial. Ele define as condições, parâmetros e opções sob as quais a simulação será executada.

2) O módulo "*Scenario Tables*" reúne as tabelas que descrevem as metas, demandas e parâmetros temporais dos cenários simulados. Entre elas estão tabelas de: taxas de conversão de pastagem; parâmetros de criação de pastagem; parâmetros de expansão de pastagem; proporção entre criação e expansão de pastagem; área esperada de dupla safra por região imediata e ano; área esperada de cultivos por região imediata e ano; taxas de regeneração; parâmetros de expansão e criação de regeneração; proporção entre expansão e criação de regeneração. Essas tabelas são fundamentais porque transformam o cenário definido pelo usuário em demandas quantitativas que o modelo deverá atender espacialmente. Por exemplo, uma tabela de área esperada de determinado cultivo por região imediata e ano estabelece quanto daquela atividade deve existir em determinada região e período. O modelo posteriormente procura distribuir essa demanda sobre as células/pixels do mapa, considerando as probabilidades espaciais e as restrições definidas.

Portanto, enquanto o "*Control Panel*" define as regras gerais, o "*Scenario Tables*" fornece os valores temporais e espaciais que representam o cenário a ser alcançado.

3) O módulo "*Input maps*" contém a base espacial inicial utilizada pelo modelo. É nele que estão os mapas que representam a situação territorial de partida e os fatores espaciais que orientam as transições. O modelo carrega, entre outros: (i) mapas de probabilidade – expansão de cultivos, expansão de dupla safra, redução de cultivos, redução de dupla safra; (ii) mapas de uso/cobertura da terra – mapa inicial da paisagem; e (iii) mapas de regionalização – regiões imediatas agrícolas (IBGE). Esses mapas funcionam como a representação espacial do território sobre a qual o modelo opera. A ideia central é que o modelo não distribui a expansão ou redução de uma atividade de maneira aleatória. As áreas potenciais são avaliadas espacialmente por meio dos mapas de probabilidade, enquanto os mapas de regiões imediatas estabelecem a escala territorial na qual determinadas demandas e parâmetros são aplicados.

4) O módulo "*Propedeutic*" pode ser entendido como uma etapa de preparação, organização e pré-processamento dos dados antes da simulação propriamente dita. Ele recebe os mapas e tabelas de entrada e realiza operações necessárias para que esses dados possam ser utilizados pelo algoritmo de simulação. Entre as etapas estão: identificação das categorias presentes nos mapas; cálculo de vizinhanças; construção de matrizes de vizinhança; organização das categorias de culturas; organização das categorias de dupla safra; cálculo/obtenção da área das células; preparação e normalização dos mapas de probabilidade; preparação de parâmetros de transição; organização das tabelas para expansão e redução das classes; cálculo das áreas iniciais da paisagem. Essa etapa é importante porque os dados brutos de entrada não estão necessariamente no formato diretamente exigido pelo algoritmo de mudança de uso da terra. O *Propedeutic*, portanto, funciona como uma ponte entre os dados de entrada e o motor de simulação: prepara os mapas, identifica classes, calcula informações auxiliares e organiza os parâmetros necessários para que o modelo possa executar as transições.

5) O "*Simulation model*" é o núcleo operacional do OTIMIZAGRO. É nesse módulo que ocorre efetivamente a simulação das mudanças de uso da terra ao longo do tempo. O modelo executa um loop temporal, passando do ano inicial (2025) ao ano

final (2050) definido no "*Control Panel*". A cada período, ele atualiza o estado da paisagem e calcula as novas áreas. Entre as operações observadas no módulo estão: atualização das áreas das diferentes classes; aplicação das regras de conversão associadas à expansão agrícola; tratamento das áreas de dupla safra; simulação das mudanças de cultivos; simulação de expansão e redução das atividades; atualização do mapa da paisagem; atualização das áreas líquidas por região e classe; cálculo e armazenamento das estatísticas da simulação; redistribuição e contabilização de resíduos associados às transições. O modelo utiliza simultaneamente demanda de área e adequação espacial. As tabelas de cenário determinam "quanto" de uma determinada classe deve ser alcançado, enquanto os mapas de probabilidade e as regras espaciais ajudam a determinar "onde" essa mudança deve ocorrer. A cada ano, portanto, o Otimizagro parte do estado da paisagem no período anterior, verifica as demandas previstas para o novo período e realiza as transições necessárias, respeitando os parâmetros espaciais e as regras estabelecidas.

6) O módulo "*Outputs*" é responsável por organizar, consolidar e salvar os resultados produzidos pelo modelo, sendo eles: estatísticas de uso da terra; áreas por cultura e por ano; resultados relacionados à dupla safra; resíduos associados ao cultivo; resíduos associados à dupla safra; mapas resultantes da simulação; e mapa combinado de cultivos e dupla safra. O modelo também transforma algumas tabelas internas em estruturas mais adequadas para análise, por exemplo, expandindo chaves e organizando informações de área por cultura e ano. Assim, esse módulo transforma os resultados intermediários da simulação em produtos finais que podem ser analisados, comparados entre cenários e utilizados em análises posteriores.

Essa divisão é particularmente importante para compreender o Otimizagro como um modelo espacialmente explícito de alocação de mudanças de uso da terra: a demanda projetada não é simplesmente transformada em uma área total, mas é espacialmente distribuída sobre o território considerando o estado inicial da paisagem, as probabilidades de transição, a vizinhança, as restrições e os parâmetros específicos de cada processo.