III CIGELUBRA
Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

Modelagem e Simulação do Processo de Georreferenciamento de Imóveis Rurais: um estudo de caso no PA Rio Cupari - Pará, Brasil

Laurykeze de Oliveira Ferreira
FAENG - UFMS
Pedro Monteiro Toniasso
FAENG - UFMS
Gustavo Seiti Dourado Watanabe
FAENG - UFMS
João Batista Sarmento dos Santos Neto
FAENG - UFMS
Kassia Tonheiro Rodrigues
FAENG - UFMS

Resumo: A regularização fundiária dos Projetos de Assentamento (PAs) da reforma agrária depende do georreferenciamento dos lotes, processo que envolve equipes de campo e de escritório, múltiplos métodos de posicionamento e forte influência de fatores externos, o que dificulta o planejamento e gera riscos de atrasos. Embora estudos recentes tenham mapeado esse fluxo em notação BPMN, ainda são escassas as análises quantitativas de seu desempenho. Este artigo tem como objetivo desenvolver um modelo de simulação de eventos discretos do processo de georreferenciamento de imóveis rurais em Projetos de Assentamento, aplicado a um estudo de caso no PA Rio Cupari, no estado do Pará. A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem qualitativa e quantitativa, combinou análise documental, entrevistas semiestruturadas e o tratamento dos relatórios técnicos da empresa executora, com rotinas em Python que consolidaram 12.183 registros de marcos. O modelo, construído no software Arena, conservou o fluxo de entidades (633 criadas e 630 finalizadas) e evidenciou a predominância dos métodos PG6 (38,68%) e PG1 (35,07%) no posicionamento dos marcos físicos, bem como a elevada variabilidade da produção de campo. Conclui-se que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta pertinente para apoiar gestores públicos no dimensionamento de equipes, na definição de prazos, no acompanhamento de contratos e no teste de cenários antes de alterar o processo real, desde que alimentada por bases de dados mais completas.

Palavras-chave: Georreferenciamento, Regularização fundiária, Simulação de eventos discretos, Arena, Projetos de assentamento.

Modeling and Simulation of the Georeferencing Process of Rural Properties: a case study in the Rio Cupari Settlement Project – Pará, Brazil

Abstract: Land tenure regularization in agrarian reform Settlement Projects (PAs) depends on the georeferencing of plots, a process that involves field and office teams, multiple positioning methods and a strong influence of external factors, which hinders planning and creates risks of delays. Although recent studies have mapped this workflow using BPMN notation, quantitative analyses of its performance remain scarce. This paper aims to develop a discrete-event simulation model of the

georeferencing process of rural properties in Settlement Projects, applied to a case study in the Rio Cupari Settlement Project, in the state of Pará, Brazil. The applied research, with a qualitative and quantitative approach, combined document analysis, semi-structured interviews and the processing of the contractor's technical reports, using Python routines that consolidated 12,183 boundary marker records. The model, built in the Arena software, preserved the flow of entities (633 created and 630 completed) and revealed the predominance of methods PG6 (38.68%) and PG1 (35.07%) in the positioning of physical markers, as well as the high variability of field production. The study concludes that discrete-event simulation is a suitable tool to support public managers in sizing teams, setting deadlines, monitoring contracts and testing scenarios before changing the real process, provided it is fed with more complete databases.

Keywords: Georeferencing, Land tenure regularization, Discrete-event simulation, Arena, Settlement projects.

1. Introdução

A estrutura fundiária brasileira é marcada pela histórica concentração de terras e pela desigualdade no acesso à propriedade. Desde o Estatuto da Terra (BRASIL, 1964) e a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), a reforma agrária busca garantir a função social da propriedade e reduzir conflitos no campo. Nesse cenário, a regularização fundiária assume papel estratégico, pois confere segurança jurídica aos assentados e amplia o acesso a crédito, assistência técnica, infraestrutura e demais políticas públicas (INCRA, 2022, 2026).

Nos projetos de assentamento do Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA), a regularização fundiária envolve procedimentos voltados à titulação dos lotes destinados aos beneficiários, exigindo organização documental, medição e demarcação dos lotes, além do georreferenciamento e da certificação do perímetro do projeto de assentamento (INCRA, 2020a).

Nesse processo, o georreferenciamento é etapa essencial, pois permite identificar com precisão os limites do imóvel rural, descrever seus vértices por coordenadas e verificar a inexistência de sobreposição com outras áreas certificadas (INCRA, 2020b, 2022; DIAS et al., 2021; BARBOSA et al., 2025b). Os dados levantados em campo são submetidos ao Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), responsável pela validação e disponibilização das informações georreferenciadas de imóveis rurais (INCRA, 2022; SIGEF/INCRA, [s.d.]).

Segundo o Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária (SIPRA), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) administra 9.964 Projetos de Assentamento (PAs), que abrangem mais de 140,9 milhões de hectares e 1.109.842 famílias assentadas (INCRA, 2020c, 2026). Essa escala evidencia o volume de demandas de regularização e georreferenciamento sob responsabilidade da autarquia e a necessidade de formas inovadoras de gestão, capazes de tornar esses processos mais ágeis, previsíveis e eficientes.

Nesse sentido, ferramentas da Engenharia de Produção ganham relevância na gestão pública. A modelagem de processos representa de forma padronizada atividades, responsáveis e fluxos de informação, enquanto a simulação de eventos discretos reproduz o comportamento do sistema ao longo do tempo e permite testar alternativas sem interferir na operação (GHALEB; SURYAHATMAJA; ALHARKAN, 2015). Aplicadas ao georreferenciamento, essas abordagens podem apoiar o planejamento das frentes de campo e de escritório, o dimensionamento de equipes e a estimativa de prazos.

Contudo, o georreferenciamento é um processo complexo, que envolve múltiplos atores, equipes de campo e de escritório, atividades paralelas e inspeções técnicas, além de depender de fatores externos como clima, logística rural e disponibilidade de pessoal, o que gera riscos de atrasos e de aumento de custos. Estudos recentes mapearam esse fluxo em

notação BPMN (BARBOSA et al., 2025a), mas não aplicaram a simulação de eventos discretos para avaliar seu desempenho quantitativo, prever cenários e identificar gargalos, o que configura uma oportunidade de pesquisa.

O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo de simulação de eventos discretos do processo de georreferenciamento de imóveis rurais em Projetos de Assentamento, capaz de apoiar o planejamento e a tomada de decisão na gestão pública. Para compreender o fluxo operacional desse processo, o modelo foi aplicado a um estudo de caso no Projeto de Assentamento Rio Cupari, localizado no estado do Pará, de modo a identificar possíveis gargalos, estimar tempos de processamento e subsidiar propostas de melhoria para o procedimento analisado.

2. Referencial teórico

2.1 Regularização fundiária e georreferenciamento no Brasil

A regularização fundiária é uma política pública voltada à organização do território e à segurança jurídica da posse e da propriedade da terra (RAMOS; PALME, 2007). No Brasil, sua compreensão exige considerar a formação histórica da estrutura fundiária, marcada pela concentração de terras desde as sesmarias e consolidada com a Lei de Terras de 1850. Conforme Zeneratti (2021), os mecanismos legais adotados não alteraram a lógica excludente de acesso à terra, e a regularização fundiária passou a ocupar posição de destaque nas políticas agrárias contemporâneas, muitas vezes em detrimento da reforma agrária.

2.2 Simulação e modelagem de processos

A simulação consiste na imitação do funcionamento de um sistema real ao longo do tempo, permitindo analisar seu comportamento sob diferentes condições sem interferir na operação (GHALEB; SURYAHATMAJA; ALHARKAN, 2015). Neste estudo, utilizou-se o software Arena (Rockwell Automation, versão Student), no qual cada etapa do fluxo mapeado em BPMN recebe tempos de processamento, capacidade de equipes e regras de retrabalho, o que permite estimar prazos, identificar gargalos pela taxa de utilização dos recursos e simular cenários alternativos.

2.3 Importância dos gargalos no georreferenciamento para a regularização fundiária

Identificar gargalos no georreferenciamento é fundamental, pois atrasos em qualquer etapa postergam a submissão das parcelas ao SIGEF e, consequentemente, a emissão dos títulos e da Concessão de Direito Real de Uso (CDRU) aos beneficiários. O mapeamento em BPMN já evidencia, de forma qualitativa, o ciclo de fiscalização e correção como ponto crítico, mas não quantifica sua frequência nem seu impacto no prazo total (BARBOSA et al., 2025a), limitação que a simulação permite suprir ao testar cenários antes de qualquer mudança real no processo.

3. Metodologia

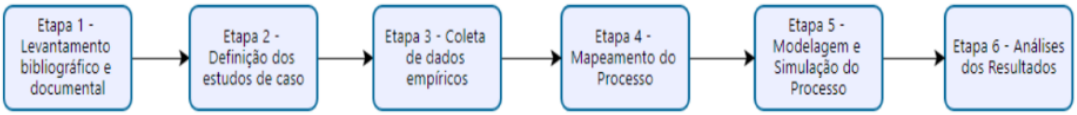
3.1 Caráter metodológico de pesquisa

Trata-se de uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e quantitativa e de objetivos exploratórios e descritivos, com foco no fluxo operacional do georreferenciamento no PA Rio Cupari. A dimensão qualitativa apoia-se na análise documental e em entrevistas com profissionais envolvidos no processo; a quantitativa, no tratamento dos dados operacionais e na construção do modelo de simulação no Arena. A pesquisa tem ainda caráter prescritivo, ao propor um modelo que subsidia melhorias no fluxo analisado.

3.2 Procedimentos metodológicos

Para atingir o objetivo proposto, a pesquisa foi conduzida em seis etapas, representadas na Figura 1 e descritas a seguir.

Figura 1 – Fluxograma das etapas desenvolvidas



Fonte: Autores (2026)

Etapa 1. Levantamento bibliográfico e documental: Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico e documental envolvendo estudos científicos, normativas, editais, legislações e documentos institucionais relacionados à regularização fundiária e às atividades de georreferenciamento rural. Essa etapa permitiu compreender os fundamentos legais, técnicos e operacionais do processo analisado.

Etapa 2. Definição e delimitação do estudo de caso: com base nas entrevistas e nos documentos analisados, selecionou-se o PA Rio Cupari entre os Projetos de Assentamento que compõem o grupo G1, localizados no estado do Pará.

A escolha considerou as diferenças estruturais entre os projetos do G1, especialmente quanto à quantidade de lotes e à complexidade operacional das atividades executadas. O PA Rio Cupari possuía inicialmente 380 lotes, caracterizando-se como um assentamento de grande porte, enquanto o PA Rio Bonito, por exemplo, possuía cerca de 120 lotes, representando um assentamento de menor porte. Optou-se, assim, pelo PA Rio Cupari por concentrar maior volume de lotes e, consequentemente, maior complexidade operacional. Considerou-se, ainda, o tempo disponível para o desenvolvimento da pesquisa, que tornou necessária a seleção de apenas um PA como objeto de estudo.

Etapa 3. Coleta de dados: A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com 5 profissionais diretamente envolvidos na execução do processo: 1 professor, 2 fiscais de campo e 2 engenheiros representantes da empresa responsável pela execução do georreferenciamento, totalizando 7 entrevistas, realizadas entre abril/2026 e junho/2026. As informações obtidas foram utilizadas para: (i) mapear a sequência de atividades, os responsáveis e as regras de decisão do fluxo (Etapa 4); (ii) identificar os fatores externos que influenciam a produção de campo, como clima, acesso aos lotes e logística; e (iii) estimar os tempos das atividades de escritório e de finalização, para as quais não havia registros nos relatórios técnicos (seção 4.2).

Etapa 4. Mapeamento e sistematização do processo: Foi realizado o mapeamento do fluxo operacional do processo de georreferenciamento. Nessa etapa, buscou-se identificar atividades, responsáveis, recursos utilizados, entradas, saídas e principais pontos de variação operacional observados.

Etapa 5. Modelagem do processo: Após o mapeamento, foi desenvolvido um modelo representativo utilizando o software Arena, com o objetivo de representar o fluxo operacional das atividades de georreferenciamento e fiscalização executadas no assentamento analisado.

Etapa 6. Análise dos resultados: Por fim, foi realizada a análise do modelo elaborado, buscando identificar padrões operacionais, possíveis gargalos e fatores que influenciam a execução das atividades de georreferenciamento no projeto de assentamento estudado.

3.3 Análise dos dados

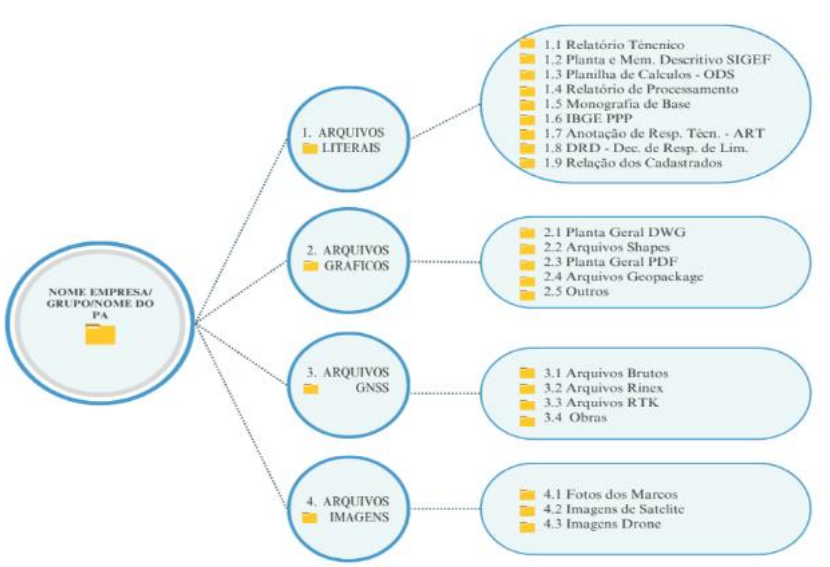
3.3.1 Parâmetros do processo

Após a conclusão do mapeamento do processo, iniciaram-se a organização e a análise quantitativa dos dados fornecidos pelas partes interessadas e pela empresa entrevistada, a fim de identificar o padrão de tempos e de chegadas do processo. Definiu-se como entidade que percorre o processo o marco (coordenada), que pode ser “físico”, quando demarcado em campo pelos técnicos, ou “virtual”, quando criado no escritório. Definiu-se, também, a necessidade de estimar o tempo médio entre chegadas de novos marcos ao fluxo e a taxa de atendimento de cada um dos processos.

3.3.2 Tratamento do banco de dados

Para isso, solicitaram-se à empresa responsável pelo georreferenciamento as informações de tempo dos marcos, sendo disponibilizados relatórios e pastas com informações referentes ao processo, como mostra a Figura 2. Após a avaliação de todas as pastas e relatórios, identificaram-se aquelas com informações relevantes sobre a demarcação dos marcos, como a pasta 1.3, que reunia, em mais de 900 tabelas de Excel, os códigos de cada marco, sua coordenada geográfica e o lote de cuja delimitação participa.

Figura 2 – Pastas de entregas técnicas da empresa



Fonte: Barbosa *et al*. (2025)

Para analisar o alto volume de tabelas, foi construído um programa em *Python* dentro do *Visual Studio Code*, com a auxílio da Inteligência Artificial *Claude Code* em sua versão *Opus* 4.8. Esse programa teve como objetivo unificar todas as tabelas em uma só, organizando as informações com suas respectivas colunas, e criando uma coluna na tabela final para que em cada linha seja especificado qual é o arquivo fonte das informações dessa linha. O motivo da escolha da construção do programa foi principalmente a necessidade de tratar os dados de forma sensível em grande escala em uma tabela única.

Com esse método, foi agrupado 12.183 linhas de informações referentes aos marcos, e iniciou-se as análises das informações. Os primeiros levantamentos realizados foram a quantidade de marcos por lote sendo 63,7 em média, e a quantidade de marcos diferentes no total, por praticamente todos os lotes participarem da demarcação de mais de um lote por estar situado na junção entre os dois, sendo 4.879 marcos.

Na sequência, analisou-se a quantidade de marcos associada a cada método de posicionamento, separando-se os marcos virtuais dos físicos em razão da grande diferença entre seus totais e do momento distinto em que são registrados no fluxograma. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Total de marcos virtuais por método de posicionamento

Método de Posicionamento	Total	% do Total
PA1	3772	95,81%
PA2	165	4,19%
Total	**3937**	

Fonte: Autores (2026)

Tabela 2 – Total de marcos físicos por método de posicionamento

Método de Posicionamento	Total	% do Total
PG1	330	35,07%
PG2	244	25,93%
PG6	364	38,68%
PG9	3	0,32%
Total	**941**	

Fonte: Autores (2026)

Para estimar os tempos médios do processo, foram analisados em conjunto todos os relatórios diários presentes na base de dados fornecida. Também foi desenvolvido um programa em Python para essa etapa, responsável por organizar as informações contidas em arquivos de texto em uma tabela única, registrando o nome e o caminho de cada arquivo em colunas próprias. A partir desses relatórios disponibilizados, que correspondem a uma parcela do total produzido ao longo do projeto, foram apurados os totais de marcos físicos coletados por dia de operação.

Adicionalmente, outra parcela dos marcos pôde ser tratada por meio do serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O processamento por PPP permitiu agregar aos registros consolidados os dados de qualidade do posicionamento, os respectivos horários de coleta e o tempo de funcionamento das bases. Com isso, foi possível identificar quantos pontos foram demarcados durante o período de funcionamento das bases presentes nas pastas fornecidas e registrar o momento em que cada marco dessa base de dados foi coletado.

Assim, foram identificados os tempos de processamento de cada marco físico por método de posicionamento utilizado pela equipe de campo, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Total de marcos físicos analisados pelo PPP

Método de Posicionamento	Total
PG1	169
PG2	157
PG6	3
PG9	4

Total	**333**

Fonte: Autores (2026)

Os tempos coletados para cada marco foram separados por método de posicionamento, e inseridos na ferramenta Input Analyzer do software Arena, a fim de obter a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos dados.

Além disso, para determinar o padrão de variação das chegadas de novos marcos ao longo de todo o processo, foram levantados os totais de marcos coletados em cada dia, agrupados em faixas de quinze dias. Dessa forma, foi possível estimar quantos marcos chegam, em média, por dia em cada faixa e identificar os períodos de maior demanda do sistema. Como as equipes operam, em média, oito horas por dia, esses valores foram convertidos em chegadas por hora.

Os dados tratados, as expressões das distribuições e as informações coletadas nas entrevistas e nos relatórios foram inseridos no software, conforme apresentado na seção 4.

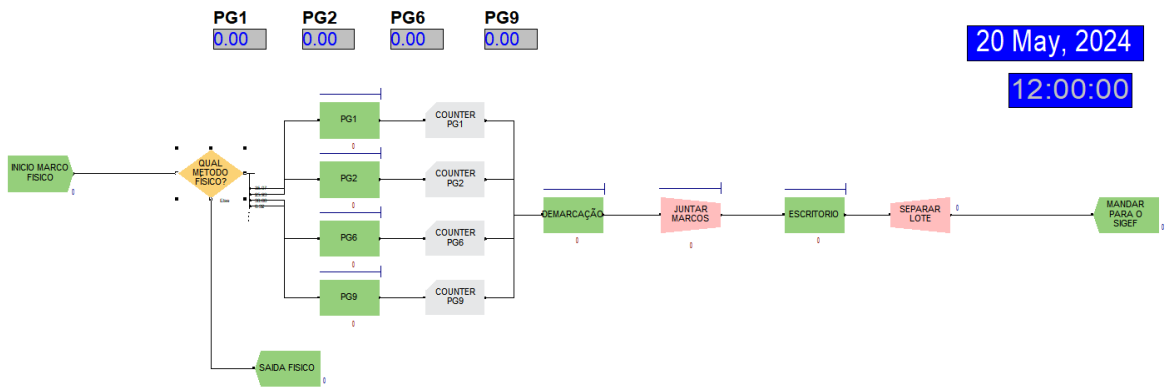
4. Resultados e Discussão

4.1 Construção do modelo

Seguindo a lógica do fluxo operacional mapeado, o modelo de simulação foi desenvolvido no Arena para identificar as taxas de utilização dos recursos e os tempos de processamento. A entidade representada no modelo corresponde a cada marco (coordenada) a ser processado, dividindo-se em dois fluxos independentes conforme sua natureza: marco virtual e marco físico. Esta seção apresenta os resultados referentes ao fluxo do marco físico, no qual se concentram as principais variabilidades operacionais.

A Figura 3 apresenta o fluxo do marco físico, que se inicia por um módulo Create parametrizado com base em um Schedule construído a partir da produtividade média diária levantada. Após a criação, a entidade é direcionada a um módulo Decide que simula a escolha do método de posicionamento conforme as probabilidades empíricas identificadas na análise do banco de dados (Tabela 2). Cada rota passa por um módulo Process correspondente seguido de módulos Counter individuais. Os quatro métodos convergem para o módulo “DEMARCAÇÃO”, que representa a conclusão do posicionamento em campo, prosseguindo sequencialmente para os módulos de processo do escritório e finalização.

Figura 3 – Fluxo do marco físico modelado no Arena



Fonte: Autores (2026)

4.2 Parâmetros de entrada

Os parâmetros de entrada do modelo foram definidos a partir do tratamento do banco de dados descrito na seção 3.3 e organizados em três conjuntos: o padrão de chegada das entidades, as probabilidades de roteamento entre os métodos de posicionamento e as distribuições de tempo de processamento de cada atividade.

O padrão de chegada foi inserido no módulo Create por meio de um Schedule do tipo Arrival, construído a partir dos totais de marcos físicos coletados por dia ao longo do período observado. Os dados foram agrupados em faixas consecutivas de quinze dias e, para cada faixa, calculou-se a taxa média diária de coleta pela razão entre o total de marcos da faixa e o número de dias correspondente. Como a operação das equipes ocorre em jornada média de oito horas por dia, as taxas diárias foram convertidas em taxas horárias, dividindo-se o valor diário por oito, de modo a compatibilizar a intensidade de chegada com o tempo efetivo de trabalho. A duração de cada faixa foi expressa em horas de operação, resultante da multiplicação de quinze dias por oito horas, totalizando cento e vinte horas por faixa. A Tabela 4 apresenta as taxas resultantes.

Tabela 4 – Definição da taxa de chegada para Schedule

Faixa	Período (dias)	Marcos coletados	Taxa (marcos por hora)	Duração (horas)
1	1 a 15	108	0,90	120
2	16 a 30	105	0,88	120
3	31 a 45	192	1,60	120
4	46 a 60	173	1,44	120
5	61 a 75	37	0,31	120
6	76 a 90	100	0,83	120
7	91 a 105	40	0,33	120

Fonte: Autores (2026)

A conversão preserva o volume observado, pois o produto entre a taxa horária e a duração de cento e vinte horas devolve o total de marcos de cada faixa. Como exemplo, a primeira faixa, com taxa de 0,90 marco por hora ao longo de cento e vinte horas, reproduz os 108 marcos coletados no intervalo. O somatório das sete faixas corresponde aos 755 marcos físicos registrados nos relatórios diários disponíveis.

A separação dos totais das entidades foi parametrizada no módulo Decide denominado “QUAL METODO FISICO”, utilizando as probabilidades empíricas de ocorrência de cada método de posicionamento apuradas na Tabela 2. Atribuíram-se 35,07% das entidades ao método PG1, 25,93% ao PG2, 38,68% ao PG6 e 0,32% ao PG9, reproduzindo a proporção observada na base de dados.

Os tempos de processamento em minutos de cada método foram ajustados na ferramenta Input Analyzer do Arena, a partir dos tempos de coleta identificados por meio do processamento PPP (Tabela 3). Para cada método, selecionou-se a distribuição de menor erro quadrático. A Tabela 5 reúne as expressões adotadas.

Tabela 5 – Distribuições de tempo de processamento por método de posicionamento

Método	Amostra (PPP)	Distribuição ajustada

PG1	169	NORM(51.2, 27.8)
PG2	157	POIS(10.6)
PG6	3	CONST(2)
PG9	4	CONST(2)

Fonte: Autores (2026)

Cabe registrar que os métodos PG6 e PG9 apresentaram amostras reduzidas no processamento PPP dos relatórios diários, com três e quatro marcos, respectivamente, o que limita a representatividade estatística das distribuições ajustadas para esses métodos. Optou-se por mantê-los no modelo com valor constante para preservar a fidelidade ao fluxo real, ponderando essa limitação na análise dos resultados. Os tempos das atividades subsequentes de escritório e finalização foram definidos a partir das informações obtidas nas entrevistas e inseridos nos respectivos módulos Process do modelo.

4.3 Análise do relatório

Concluída a construção e a verificação do modelo, executou-se a simulação e analisou-se o relatório gerado pelo Arena, com foco em três conjuntos de indicadores: a conservação do fluxo de entidades, a taxa de utilização dos recursos e os tempos associados ao processamento e à espera.

A conservação do fluxo foi avaliada pela comparação entre o número de entidades criadas e o número de entidades que concluíram o processo. Foram criadas 633 entidades e finalizadas 630 ao final da replicação, diferença compatível com as entidades ainda em processamento no encerramento da simulação. O resultado indica que não houve retenção indevida de entidades no sistema e confirma a coerência estrutural do modelo.

A Tabela 6 apresenta as taxas de utilização dos recursos associados às atividades do fluxo do marco físico, indicador que expressa a proporção do tempo em que cada recurso permaneceu ocupado ao longo da simulação.

Tabela 6 – Taxa de utilização dos recursos no cenário base

Recurso	Taxa de Utilização
EQUIPE ESCRITÓRIO	2,08%
EQUIPE MAPEAMENTO	4,75%

Fonte: Autores (2026)

Quanto aos tempos, o relatório indicou tempo médio total no sistema de 689,48 minutos por entidade, dos quais 542,16 minutos correspondem, em média, a tempo de espera, com fila média de 0 entidades. O recurso EQUIPE MAPEAMENTO apresentou a maior taxa de utilização, de 4,75%.

4.4 Discussão

Os resultados da simulação, ainda que parte dos parâmetros tenha sido estimada, permitem avançar em relação ao que o mapeamento do processo já mostrava. O mapeamento em BPMN descreve a sequência de atividades e aponta, de forma qualitativa, os pontos críticos do fluxo, a simulação acrescenta as dimensões de tempo e de

capacidade, ao quantificar quanto tempo cada marco permanece no sistema, quanto desse tempo corresponde a espera e em que medida as equipes são efetivamente ocupadas.

O primeiro achado refere-se à composição do tempo de ciclo. Dos 689,48 minutos que, em média, cada marco físico permanece no sistema, 542,16 minutos (cerca de 79%) correspondem a espera, enquanto as taxas de utilização das equipes de mapeamento (4,75%) e de escritório (2,08%) permanecem baixas e a fila média nos recursos é nula. Esse conjunto indica que, no cenário base, o prazo do processo não é determinado pela capacidade das equipes modeladas, mas pelo ritmo de chegada dos marcos e pelas esperas entre etapas, o que revela ociosidade de recursos e desequilíbrio entre a produção de campo e a capacidade de processamento do escritório. Essa constatação não pode ser obtida apenas com o mapeamento do processo, que não distingue o tempo de trabalho efetivo do tempo de espera.

O segundo achado refere-se à variabilidade da produção de campo. A taxa de chegada de marcos variou de 0,31 a 1,60 marco por hora entre as faixas de quinze dias (Tabela 4), uma diferença superior a cinco vezes entre os períodos de menor e de maior produção. Essa oscilação, associada a fatores como clima, acesso aos lotes, disponibilidade de recursos e etapa do projeto, alterna períodos de maior demanda com períodos de ociosidade nas etapas seguintes e indica que o planejamento não deve considerar uma produtividade média constante. Soma-se a isso a predominância dos métodos PG6 e PG1 no posicionamento dos marcos físicos do PA Rio Cupari, padrão que pode orientar o planejamento, a execução e a comparação de metodologias nos demais projetos do mesmo grupo.

Do ponto de vista da gestão pública, esses resultados podem apoiar decisões concretas. A equipe de gestão do INCRA responsável pelo planejamento de um projeto de georreferenciamento pode utilizar o modelo para dimensionar as equipes de campo e de escritório de acordo com o número de lotes e a produtividade esperada, evitando tanto o subdimensionamento, que gera atrasos, quanto a ociosidade de recursos. Na definição de prazos, o modelo permite estimar a duração do processo a partir do número de lotes, da quantidade média de marcos por lote e da combinação de métodos de posicionamento, em substituição a estimativas baseadas apenas na experiência. Para o fiscal de contrato, os tempos e as taxas simulados funcionam como referência para acompanhar a execução, permitindo comparar a produção real com a esperada e identificar precocemente desvios de ritmo.

Outra contribuição é a possibilidade de prever as consequências de mudanças antes de aplicá-las ao processo real. Cenários relevantes para testes futuros incluem o aumento ou a redução do número de equipes; a alteração da capacidade do escritório; variações na produtividade de campo; a redução da taxa de chegadas em períodos chuvosos ou em lotes de difícil acesso; e diferentes volumes de lotes, como o de um assentamento de menor porte, a exemplo do PA Rio Bonito (cerca de 120 lotes), em comparação ao PA Rio Cupari (380 lotes). Ao comparar esses cenários, o gestor pode avaliar o efeito de cada alternativa sobre o prazo total e a utilização dos recursos sem interferir na operação. Dessa forma, o modelo contribui para reduzir incertezas no planejamento de novos Projetos de Assentamento, e em vez de definir equipes e prazos a partir de médias ou de experiências anteriores, o gestor passa a dispor de estimativas fundamentadas nos dados do processo, que explicitam a variabilidade envolvida e os riscos de atraso.

A principal dificuldade encontrada neste estudo foi a definição dos parâmetros de entrada do processo, que, embora coerentes com os valores observados no banco de dados, ainda necessitam de ajustes para considerar outras variáveis que incidem sobre os resultados, como um detalhamento maior do processo de escritório realizado pela empresa, com base nos tempos de cada etapa.

Como limitações, registram-se ainda a representatividade reduzida das amostras dos métodos PG6 e PG9, mencionada na seção 4.2, o fato de o padrão de chegada derivar de apenas uma parcela dos marcos disponíveis nos relatórios e a restrição do estudo às informações do PA Rio Cupari. Por isso, recomenda-se cautela na generalização dos valores absolutos, ainda que o comportamento relativo do sistema e a identificação dos pontos críticos se mantenham consistentes.

5. Conclusão

Este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação de eventos discretos do processo de georreferenciamento de imóveis rurais em Projetos de Assentamento, aplicado a um estudo de caso no PA Rio Cupari, no estado do Pará, para compreender o fluxo operacional desse processo. A partir do mapeamento do fluxo operacional, do tratamento do banco de dados e da construção do modelo no software Arena, foi possível representar quantitativamente um processo até então descrito apenas de forma qualitativa, cumprindo as etapas metodológicas propostas.

O tratamento dos dados permitiu consolidar 12.183 registros de marcos em uma base única, identificar as proporções de uso de cada método de posicionamento e ajustar, por meio do Input Analyzer, as distribuições estatísticas dos tempos de processamento. O padrão de chegada foi representado por um schedule construído a partir dos totais diários de marcos coletados, agrupados em faixas de quinze dias e convertidos em taxa horária para refletir a jornada média de oito horas de operação das equipes. Essa estrutura aproximou o modelo da dinâmica real de demanda do processo.

A simulação evidenciou a complexidade do processo como um todo, desde a variabilidade dos tempos entre chegadas de entidades e dos métodos de posicionamento até o processo de elaboração de planilhas e desenhos para a entrega final. Ainda assim, dentro de suas limitações, o modelo apresentou pontos convergentes com os dados das entregas da empresa, o que sustenta sua validade, embora seja necessária uma exploração mais aprofundada de cada etapa individualmente.

Dessa forma, o estudo confirma a pertinência da simulação de eventos discretos como ferramenta de apoio à decisão na regularização fundiária. Ao revelar que, no cenário base, o prazo é determinado mais pelo ritmo e pela variabilidade da produção de campo do que pela capacidade das equipes, o modelo oferece aos gestores públicos subsídios para dimensionar equipes, definir prazos mais realistas, acompanhar contratos e testar cenários antes de alterar o processo real.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomendam-se a ampliação da base de dados com a totalidade dos marcos do projeto; a aplicação do modelo aos demais projetos de assentamento do G1 e a projetos executados por outras empresas, para fins comparativos; e a incorporação de fatores externos, como condições climáticas e logística rural, citados como influentes no processo, mas ainda não representados no modelo atual.

Referências

BARBOSA, B. R.; COSTA, M.; NASCIMENTO, T. G. F.; MOREIRA, S. G.; KALACHE, N.; MARTINS, C. L.; RODRIGUES, K. T.; SANTOS NETO, J. B. S. Modelagem do processo de regularização fundiária: estudo de caso no Projeto de Assentamento Rio Cupari. I Congresso Internacional de Regularização Fundiária & VIII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2025.

BARBOSA, B. R.; COSTA, M.; NASCIMENTO, T. G. F.; KALACHE, N.; MARTINS, C. L.; RODRIGUES, K. T.; SANTOS NETO, J. B. S.; LIBÓRIO, G. G. S. Regularização fundiária

em projetos de assentamento rural: a importância do georreferenciamento. I Congresso Internacional de Regularização Fundiária & VIII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2025.

BRASIL. Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 nov. 1964.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

RAMOS, D.; PALME, U. W. Regularização fundiária. Agroanalysis, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Manual técnico para georreferenciamento de imóveis rurais. 2. ed. Brasília, 2022.

DIAS, A. C.; OLIVEIRA, R. B.; SANTOS, T. N.; CAMBRA, R. Z. L. Atuação do engenheiro agrimensor no processo de georreferenciamento e certificação de cadastro de imóvel rural: análise da Fazenda Serra Negra – Betim/MG. Revista Paramétrica, 2021.

INCRA. Titulação de Assentamento. Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2020a. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/titulacao. Acesso em: 15 jun. 2026.

INCRA. Certificação de Imóvel Rural. Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2020b. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/certificacao-imoveis. Acesso em: 15 jun. 2026.

INCRA. Assentamentos. Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2020c. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos. Acesso em: 15 jun. 2026.

INCRA. Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 2. ed. Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2022. Disponível em: https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_geo_imoveis.pdf. Acesso em: 15 jun. 2026.

INCRA. Painel dos Assentamentos: Sistema de Informações de Projetos de Reforma Agrária (SIPRA). Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 2026. Disponível em: https://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php.

SIGEF/INCRA. Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF. Brasília: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, [s.d.]. Disponível em: https://sigef.incra.gov.br/. Acesso em: 15 jun. 2026.

GHALEB, M. A.; SURYAHATMAJA, U. S.; ALHARKAN, I. M. Modeling and Simulation of Queuing Systems Using Arena Software: A Case Study. Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dubai, p. 1–7, 2015.

ZENERATTI, F. L. O acesso à terra no Brasil: reforma agrária e regularização fundiária. Revista Katálysis, Florianópolis, v. 24, n. 3, p. 564-575, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1982-0259.2021.e79558.